



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVELES DE RIESGO PARA ZONAS DE DESPRENDIMIENTOS A TRAVÉS DE TECNOLOGÍA SDRADAR EN UN AMBIENTE DE LABORATORIO

NANCY PAOLA VELOZ PARRA

Proyecto de investigación, presentado ante el instituto de Postgrados y Educación Continua de la ESPOCH,
como requisito parcial para obtención del grado de:

MAGISTER EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIONES

Riobamba-Ecuador

Febrero 2018

@2018, Nancy Paola Veloz Parra

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

El Tribunal del PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CERTIFICA QUE: El proyecto de investigación titulado: “ESTUDIO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVELES DE RIESGO PARA ZONAS DE DESPRENDIMIENTOS A TRAVÉS DE TECNOLOGÍA SDRADAR EN UN AMBIENTE DE LABORATORIO”, de responsabilidad de la señorita Nancy Paola Veloz Parra, ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. Wilson Zúñiga.

PRESIDENTE

Dr. David Moreno Ph.D.

DIRECTOR

Dr. Hugo Moreno Ph.D.

MIEMBRO

Ing. Fabricio Santacruz M.Sc

MIEMBRO

Riobamba, Febrero 2018

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Nancy Paola Veloz Parra declaro ser la autora del presente trabajo de titulación: “ESTUDIO DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN DE NIVELES DE RIESGO PARA ZONAS DE DESPRENDIMIENTOS A TRAVÉS DE TECNOLOGÍA SDRADAR EN UN AMBIENTE DE LABORATORIO”, que fue elaborado en su totalidad por mi persona, bajo la dirección del Dr. David Moreno Ph.D., haciéndome totalmente responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio de la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

NANCY PAOLA VELOZ PARRA

No. Cédula: 0603457896

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se la dedico a Dios por ser el motor que impulsa mi vida, a mi madre por su apoyo y confianza en los momentos difíciles, enseñándome con su ejemplo a ser una mujer de trabajo y lucha constante y en especial a mi hijo que con sus ocurrencias llena mi vida de alegría, los amo con todo mi corazón

Nancy Paola

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al Instituto de Postgrados y educación Continua y a todos los docentes y compañeros que han compartido todos sus conocimientos durante estos años de preparación académica. Al Ing. David Moreno tutor de este trabajo de titulación por el apoyo en la investigación, de igual manera al Ing. Hugo Moreno por su colaboración.

A mis amigos les agradezco por sus palabras de aliento y compañía, confortándome para alcanzar uno de mis sueños.

Nancy Paola

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1 MARCO REFERENCIAL	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Formulación del problema	3
1.3 Sistematización del problema	4
1.4 Justificación	4
1.4.1 Justificación teórica	4
1.4.2 Justificación Aplicativa	6
1.5 Objetivos	7
1.5.1 Objetivo general.....	7
1.5.2 Objetivos específicos.....	7
1.6 Hipótesis.....	7
1.6.1 Operacionalización de variables	7

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO	8
2.1 Movimientos en masa	8
2.2 Radar	8
2.2.1 Funcionamiento	9
2.2.2 Clasificación de los radares.....	9
2.2.3 Generación de señales radar	10
2.2.3.1 Onda continua modulada en frecuencia (FMCW).....	10
2.2.3.1.1 Funcionamiento Radar FMCW.....	11
2.2.4 Parámetros de un Sistema Radar FMCW.....	13
2.2.4.1 Potencia de recepción	13
2.2.4.2 Ancho de Banda	14
2.2.4.3 Resolución.....	14
2.2.4.4 Distancia máxima	15
2.2.4.5 Radargrama	15

2.2.5 Bandas de frecuencia asignada a radar	17
2.3 SDRadar	18
2.3.1 Tarjeta USRP B210.....	19
2.3.1.1 Características	19
2.3.1.1.1 Velocidad máxima de la tarjeta	20
2.3.1.1.2 Potencia de la tarjeta	21
2.3.1.1.3 Puerto USB de la tarjeta	21
2.3.1.2 Estructura funcional.....	22
2.4 Matlab	23
2.5 GNU Radio	23
2.6 Reflectividad	24
2.6.1 Ecuación de Maxwell.....	26
2.6.2 Permittividad eléctrica.....	28
2.6.3 Características eléctricas del suelo	29

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO.....	30
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	30
3.2 Métodos de investigación.....	30
3.3 Enfoque de la investigación	31
3.4 Alcance de la investigación.....	31
3.5 Población de estudio	31
3.6 Unidad de análisis	31
3.7 Procesos para el desarrollo del trabajo de investigación.....	32
Método utilizado para el desarrollo del trabajo de investigación.....	33
3.7.1 Selección de muestras	33
3.7.2 Preparación de la muestra	33
3.7.3 Preparación del sistema de medición	34
3.7.3.1 Características de los computadores	34
3.7.3.2 Características de las antenas de transmisión y recepción	35
3.7.3.3 Características de potencia del sistema.....	37
3.7.3.4 Diagrama del transmisor (GNU radio)	37
3.7.3.5 Diagrama del Receptor (GNU radio)	38
3.7.3.6 Diagrama del sistema de medición	38
3.7.4 Calibración	40
3.7.5 Medición.....	41
3.7.6 Exportación de datos	43

3.7.6.1 Definición del software de simulación para el sistema de medición	43
3.7.7 Procesamiento de datos	44
3.7.8 Muestra de resultados	46

CAPÍTULO IV

4 INTERPRETACIÓN RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.1 Obtención y análisis de resultados	47
4.1.1 Análisis de la permitividad según grados de humedad y discusión de resultados	47
4.1.1.1 Evaluación del material 1 con los diferentes grados de humedad.....	47
4.1.1.2 Evaluación del material 2 con los diferentes grados de humedad.....	50
4.1.1.3 Evaluación del material 3 con los diferentes grados de humedad.....	51
4.1.1.4 Evaluación de los tres materiales con los diferentes grados de humedad.....	53
4.2 Análisis para determinar niveles de riesgos	55
4.2.1 Evaluación de la permitividad en escenarios de riesgo de desprendimientos y discusión de resultados	55
4.2.2 Determinación de existencia de riesgo.	57
4.2.2.1 Evaluación de la permitividad en escenarios de desprendimiento del material 1 para determinar existencia de riesgo.	57
4.2.2.2 Evaluación de la permitividad en escenarios de desprendimiento del material 2 para determinar existencia de riesgo.	58
4.2.2.3 Evaluación de la permitividad en escenarios de desprendimiento del material 3 para determinar existencia de riesgo.	58
4.2.3 Evaluación del comportamiento de la señal recibida para determinar niveles de desprendimiento	59
4.3 Comprobación de la Hipótesis	64
4.3.1 Hipótesis general	64
4.3.2 Demostración de la hipótesis	64
Se realiza la decisión estadística mediante la comparación del valor de la última columna.....	67
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES	69
GLOSARIO	
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Operacionalización de las variables.....	7
Tabla 1-2: Métodos geofísicos en deslizamientos.....	8
Tabla 2-2: Rango de frecuencias asignado a radares según IEEE.....	18
Tabla 3-2: Resolución USRP B210.....	21
Tabla 4-2: USB 2.0 vs. USB 3.0.....	22
Tabla 1-3: Materiales para medición de su permitividad.....	23
Tabla 2-3: Grados de humedad.....	24
Tabla 3-3: Características de los computadores.....	25
Tabla 4-3: Valores de costos utilizados en el sistema de medición.....	40
Tabla 5-3: Características del software de simulación.....	41
Tabla 1-4: Valores de permitividad del material 1 (tierra) vs grados de humedad	49
Tabla 2-4: Valores de permitividad del material 2 (arena) vs grados de humedad	51
Tabla 3-4: Valores de permitividad del material 3 (macadán) vs grados de humedad.....	53
Tabla 4-4: Valores promedios de permitividad para 3 materiales vs grados de humedad.....	54
Tabla 5-4: Determinación de niveles de riesgo para la tierra.....	57
Tabla 6-4: Determinación de niveles de riesgo para la arena.....	58
Tabla 7-4: Determinación de niveles de riesgo para el macadán.....	58
Tabla 8-4: Comportamiento de la señal recibida de la arcilla seca vs distancia.....	62
Tabla 9-4: Posibles desprendimientos según valores de amplitud de la señal Rx vs distancia.....	63
Tabla 10-4: Resultados de normalidad en SPSS.....	66
Tabla 11-4: Resultados de prueba T en SPSS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Deslizamientos ocurridos en el ecuador 1988-1998	2
Figura 2-1 Tipo y número de desastres (Período Enero 1988- Diciembre 1998)	3
Figura 3-1 Susceptibilidad de derrumbes y deslizamientos en el ecuador continental	5
Figura 1-2 Funcionamiento de un sistema radar	9
Figura 2-2 Señal de onda continua modulada en frecuencia lineal	10
Figura 3-2: Etapas de un radar FMCW	11
Figura 4-2: Relación de k con el tiempo máximo y ancho de banda	12
Figura 5-2: Señal FMCW lineal transmitida y recibida	13
Figura 6-2 Señal Chirp trasmitida	16
Figura 7-2 Señal Chirp recibida	16
Figura 8-2 Multiplicación en el dominio de t, señal transmitida por la señal recibida	16
Figura 9-2 Radargrama en el dominio de la frecuencia espacial	16
Figura10-2 Radargrama en el dominio de la frecuencia temporal	16
Figura11-21: Bandas de frecuencias usadas para los radares	17
Figura12-2: Estructura física USRP B210	20
Figura 13-2: Diagrama de bloques USRP	22
Figura 14-2: Onda reflejada en una estructura formada por varias capas	23
Figura 15-2: Valores de permitividad relativa	23
Figura 16-2: Conductividad intrínseca y permitividad relativa, en función del grado de humedad y temperatura	23
Figura 1-3: Diagrama de los procesos para el desarrollo del proyecto	32
Figura 2-3: Diagrama de la metodología	33
Figura 3-3 Diseño antenas con tecnología microstrip	36
Figura 4-3 Esquema de radiación de la antena	36
Figura 5-3 Ganancia total del arreglo de antenas microstrip	37
Figura 6-3: Diagrama de bloques del transmisor	38
Figura 7-3: Diagrama de bloques del receptor	38
Figura 8-3: Diagrama de bloques del sistema de medición	39
Figura 9-3: Fotografía en el proceso de calibración	40

Figura 10-3: Fotografía en el proceso de medición.....	41
Figura 11-3: Diagrama de flujo del procesamiento de datos.....	45
Figura 12-3: Grafica normalizada para obtener índice de reflexión.....	46
Figura 1-4: Mediciones en la tierra.....	48
Figura 2-4: Mediciones en la arena.....	50
Figura 3-4: Mediciones en el macadán.....	52
Figura 4-4: Estado inicial súper seco tierra, Arena, macadán.....	55
Figura 5-4: Estado final súper seco tierra, Arena, macadán.....	56
Figura 6-4: Estado inicial súper húmedo tierra, Arena, macadán	56
Figura 7-4: Estado final súper húmedo tierra, Arena, macadán	57
Figura 8-4: Sistema de medición a varias distancias.....	60

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Señal de calibración.....	41
Gráfico 2-3: Señal recibida	42
Gráfico 1-4: Radargrama para medición del índice de reflexión del material 1 con varios grados de humedad.....	48
Gráfico 2-4: Radargrama para medición del índice de reflexión del material 2 con varios grados de humedad.....	50
Gráfico 3-4: Radargrama para medición del índice de reflexión del material 3 con varios grados de humedad.....	52
Gráfico 4-4: Comportamiento de la permitividad de los tres materiales con los diferentes grados de humedad.....	54
Gráfico 5-4: Señal recibida arcilla seca a 40cm.....	59
Gráfico 6-4: Señal recibida arcilla seca a 45cm.....	60
Gráfico 7-4: Señal recibida arcilla seca a 50cm.....	61
Gráfico 8-4: Señal recibida arcilla seca a 55cm.....	61
Gráfico 9-4: Comportamiento de la señal recibida (arcilla seca) vs distancia.....	62
Gráfico 10-4: Correlación entre la permitividad y la humedad.....	65
Gráfico 11-4: Valores de permitividad antes y después del desprendimiento.....	67

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2 Señal FMCW en el dominio del tiempo.....	10
Ecuación 2-2 K relacionada con t y ancho de banda.....	12
Ecuación 3-2 Distancia del objetivo.....	12
Ecuación 4-2 Frecuencia de muestreo.....	13
Ecuación 5-2 Potencia de recepción del radar.....	13
Ecuación 6-2 Ancho de banda del radar.....	14
Ecuación 7-2 Resolución del radar.....	14
Ecuación 8-2 Distancia máxima teórica del radar.....	15
Ecuación 9-2 Distancia máxima práctica del radar.....	15
Ecuación 10-2 Amplitud reflejada del metal atenuaciones.....	24
Ecuación 11-2 Amplitud reflejada del metal.....	25
Ecuación 12-2 Cálculo del Ir con amplitudes.....	25
Ecuación 13-2 Cálculo del coeficiente de reflexión.....	25
Ecuación 14-2 Cálculo permitividad relativa.....	26
Ecuación 15-2 Ley de Faraday.....	26
Ecuación 16-2 Ley generalizada de Ampere.....	26
Ecuación 17-2 Ley de Gauss.....	26
Ecuación 18-2 Ecuación de Maxwell.....	26
Ecuación 19-2 Ecuación constitutiva de Maxwell.....	27
Ecuación 20-2 Ecuación constitutiva de Maxwell.....	27
Ecuación 21-2 Ecuación constitutiva de Maxwell.....	27
Ecuación 22-2 Permitividad eléctrica.....	27
Ecuación 23-2 Permeabilidad eléctrica.....	27
Ecuación 24-2 Tangente de pérdidas.....	28
Ecuación 1-3 Desviación media.....	32
Ecuación 2-3 Error estándar.....	32
Ecuación 3-3 Número de mediciones.....	33
Ecuación 1-4 Valor aceptado.....	37
Ecuación 2-4 Coeficiente de correlación.....	44
Ecuación 3-4 Error aceptado.....	44

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Datasheet USRP B210

ANEXO B: Datasheet Amplificador *rf 20-6000Mhz ZIL6G*

ANEXO C: Código para determinar valores del índice de reflexión y permitividad

ANEXO D: Medidas realizadas con la USRP B210

RESUMEN

Se realizó un estudio de un sistema de medición de niveles de riesgo para zonas de desprendimiento con tecnología SDRadar en un ambiente de laboratorio. Primero se realizó pruebas de simulación del funcionamiento de un radar en el software de Matlab, una vez comprendido su funcionamiento luego de varias simulaciones, se implementó el sistema de medición con dos tarjetas USRP B210 conectados a dos computadores respectivamente, una para la transmisión y otra para la recepción de la señal en cada uno se instaló una antena con una frecuencia de operación de 5GHz y ganancias de 10db, para incrementar la potencia del radar se usó dos amplificadores ZJL6G+ en cascada de 10db cada uno, lo que nos proporcionó una ganancia total de 20db mejorando significativamente la potencia del sistema, para la medición de tres materiales tierra, arena y macadán en diferentes grados de humedad(cero, leve1, leve2, leve3, moderado1, moderado2, moderado3 y fuerte) de los cuales se obtuvo sus índices de reflexión y con los mismos se calculó sus valores de permitividad relativa, relacionando de esta forma los valores de permitividad con la humedad. Después se analizó dos escenarios en riesgo de desprendimiento uno extremadamente seco y otro extremadamente húmedo y se determinó valores límites de riesgo para cada material .El sistema nos proporciona información muy valiosa para futuras investigaciones o implementaciones. Se recomienda usar la implementación propuesta.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <TELECOMUNICACIONES>, <PERIFÉRICO UNIVERSAL DE SOFTWARE DE RADIO (USRP)>, <RADAR DEFINIDO POR SOFTWARE (SDRADAR)>, <ONDA CONTINUA MODULADA EN FRECUENCIA (FMCW)>, <MATLAB (SOFTWARE)>

ABSTRACT

A study of a measuring system of risk levels was developed in detachments zones using SDRadar technology at a lab environment. The first step was the simulation testing of how a radar works into the Matlab software, once its operation was understood and after several simulations, the measuring system was implemented by connecting two USRP B210 cards to a couple of computers, one for broadcasting and the other for reception of the signal, then an antenna was installed in each device with an operation frequency of 5GHz and an amelioration of 10db. For boosting the power of the radar, two ZJL6G+ amplifiers were used in cascade of 10db each, which made an improvement of 20db in the power system. To measure three materials such as soil, sand and macadam in different moisture degrees (zero, mild 1, mild 2, mild 3, moderate 1, moderate 2, moderate 3 and strong) at the obtained permittivity values, two scenarios of detachment risk were compared, one extremely dry and the other extremely wet, determining that there is a risk in <3 and >6 values. The system provides important information for future investigations or implementations, being the one proposed in this study the most recommendable.

Keywords: <ENGINEERING SCIENCES AND TECHNOLOGY>, <TELECOMMUNICATIONS>, <UNIVERSAL SOFTWARE RESOURCE PERIPHERAL (USRP)>, <SOFTWARE DEFINED RADAR (SDRADAR)>, <FREQUENCY MODULATED CONTINUOUS WAVE (FMCW)>, <MATLAB (SOFTWARE) >

INTRODUCCIÓN

En la actualidad varios investigadores buscan explotar las características de la tecnología SDRadar, debido a que gracias a la información que arrojan estos sistemas, se puede desarrollar un sinnúmero de aplicaciones, ayudando a estudios relacionados con necesidades presentes en la sociedad, como lo es analizar niveles de riesgo en zonas de desprendimiento.

El presente trabajo de tesis se centra en el diseño e implementación de un Sistema de Radar por software, con la utilización de tarjetas USRP (Periférico Universal de Software de Radio) B210. El sistema de radar propuesto pretende ser un aporte para el objetivo final que es determinar niveles de riesgo en zonas de desprendimiento.

El diseño e implementación del presente Radar consistió en comprender la teoría inherente al funcionamiento de los radares, en especial referente al tipo de radar de onda continua en frecuencia modulada que se describe en el presente documento y parámetros básicos de los fenómenos de reflexión. A partir del entendimiento de la teoría se procedió a la selección de componentes del sistema tomando en cuenta ciertos aspectos como la mejor potencia y eficiencia del sistema. Posteriormente se implementó el sistema SDRadar con los componentes elegidos tomando en cuenta las recomendaciones de investigaciones anteriores. Luego se hicieron las pruebas respectivas de distancia y se validaron los resultados con una cinta métrica para la distancia, con las señales recibidas se obtuvo el índice de reflexión y de permitividad para su análisis y determinar niveles de riesgo en zonas de desprendimiento. Finalmente a partir del desempeño del sistema de radar propuesto se llegaron a conclusiones concretas en cuanto a resultados y se evaluaron posibles mejoras como recomendaciones para futuros trabajos.

CAPÍTULO I

1 MARCO REFERENCIAL

1.1 Antecedentes

Nuestro país por su geografía es muy propenso para que se manifiesten desprendimientos, existen otros estudios sobre el riesgo asociado y cartográficamente presentados de registro de eventos extrapolados a nivel cantonal del Ecuador, según la referencia de Robert D'Ercole¹ en su trabajo, capítulo de análisis de amenazas presenta en el mapa N° 9- deslizamientos ocurridos en el Ecuador (1988-1998). (D' Ercole 1, 1998)

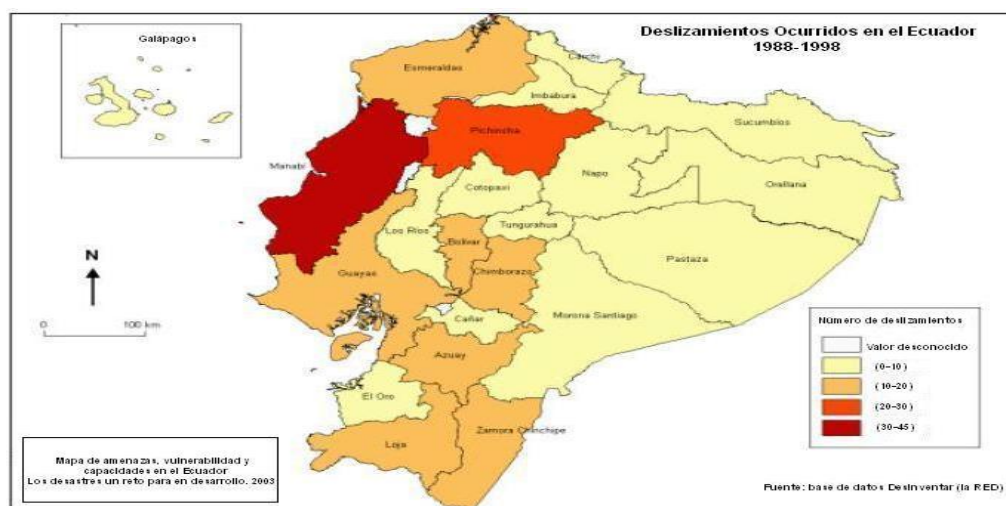


Figura 1-1Deslizamientos ocurridos en el ecuador 1988-1998

Fuente: Robert D'ercole, 2003

Como podemos observar el gráfico N°1 la gran parte de Provincias de las tres regiones tienen un alto grado de ocurrencia de desprendimientos.

LA RED “La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina” realiza un estudio muy parecido en su proyecto de elaboración de un Sistema de Inventario de Desastres en América Latina DESINVENTAR.

En el cual se define como deslizamientos, a todos los movimientos en masa, es decir los derrumbes y desprendimientos, se los define como deslizamientos. (Zevallos, 1999)

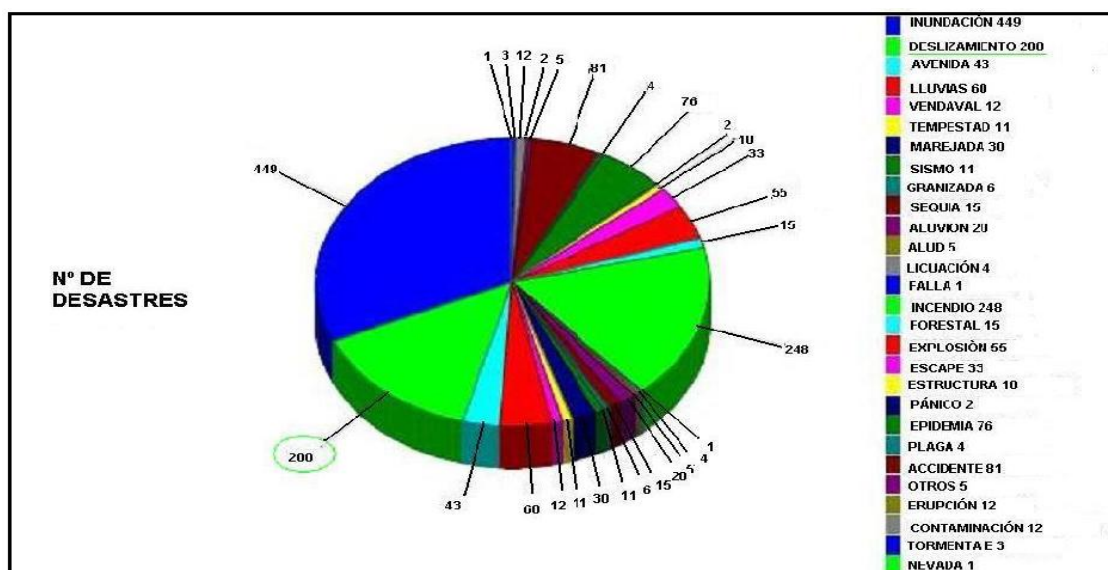


Figura2- 1 Tipo y número de desastres (Período Enero 1988- Diciembre 1998)

Fuente: Zevallos, 1999

En la figura 2-1, se puede apreciar que el desastre natural de más incidencia en América latina son los las inundaciones y después los desprendimientos. Claramente podemos determinar que es una problemática no solo nacional sino también internacional.

Los ejemplos de deslizamientos en nuestro país Ecuador son innumerables, los mismos que provocan pérdidas de vidas humanas, económicas y sociales.

Es por esto, que los problemas abordados demandan disponer de un sistema de medición en zonas de desprendimiento, para determinar niveles de riesgos a través de tecnología SDRadar en ambiente de laboratorio, esperando que este estudio sirva para futuras implementaciones, con el fin de minimizar los efectos de desastres naturales de este tipo.

En un futuro se podría realizar varias actividades para resguardar la integridad de las personas que viven en estas zonas así como las que solo transitan por allí o la toma de decisiones futuras en cuanto a construcción. Etc.

1.2 Formulación del problema

Los desprendimientos de tierra son altamente peligrosos y pueden convertirse en verdaderos desastres naturales cuando sepultan poblaciones bajo toneladas de tierra. La misma que recoge árboles, vehículos y construcciones, ocasionando severos daños económicos, además de cegar cientos de vidas humanas. Los puentes quedan bloqueados, se fragmentan las líneas eléctricas y las poblaciones quedan incomunicadas. Desgraciadamente, no hay manera de evitar los desprendimientos puesto que obedecen a fuerzas físicas de la naturaleza. Con la tecnología SDRadar se podría realizar un sistema de medición para determinar niveles de riesgos en zonas

de desprendimientos en un ambiente de laboratorio. Con el fin de minimizar los efectos de estos desastres naturales, por ejemplo, alertando a las poblaciones donde hay niveles de riesgo alto para su evacuación o impidiendo la movilidad por estos lugares, entre otros.

1.3 Sistematización del problema

- ¿Qué software de simulación ayudara en el diseño de un sistema de medición de niveles de riesgo para zonas de desprendimientos?
- ¿Cómo la tecnología SDRadar permitirá valorar las zonas de desprendimientos?
- ¿El sistema de medición para zonas de desprendimientos permitirá crear una base de datos de mediciones?

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación teórica

Según el mapa 6 del mapeo a escala 1: 1.000.000 de peligros de derrumbes y deslizamientos en el Ecuador continental (SENPLADES-CAF/PREANDINO, 2005). Nuestro país tiene un peligro alto y muy alto de desprendimientos del 60% del territorio nacional, como se observa en la figura 3-1. Se considera a este fenómeno como una problemática nacional, razón por la cual se desea realizar el estudio de un sistema de medición para zonas de desprendimiento con tecnología SDRadar para determinar niveles de riesgos, que sirva como base para implementaciones futuras.

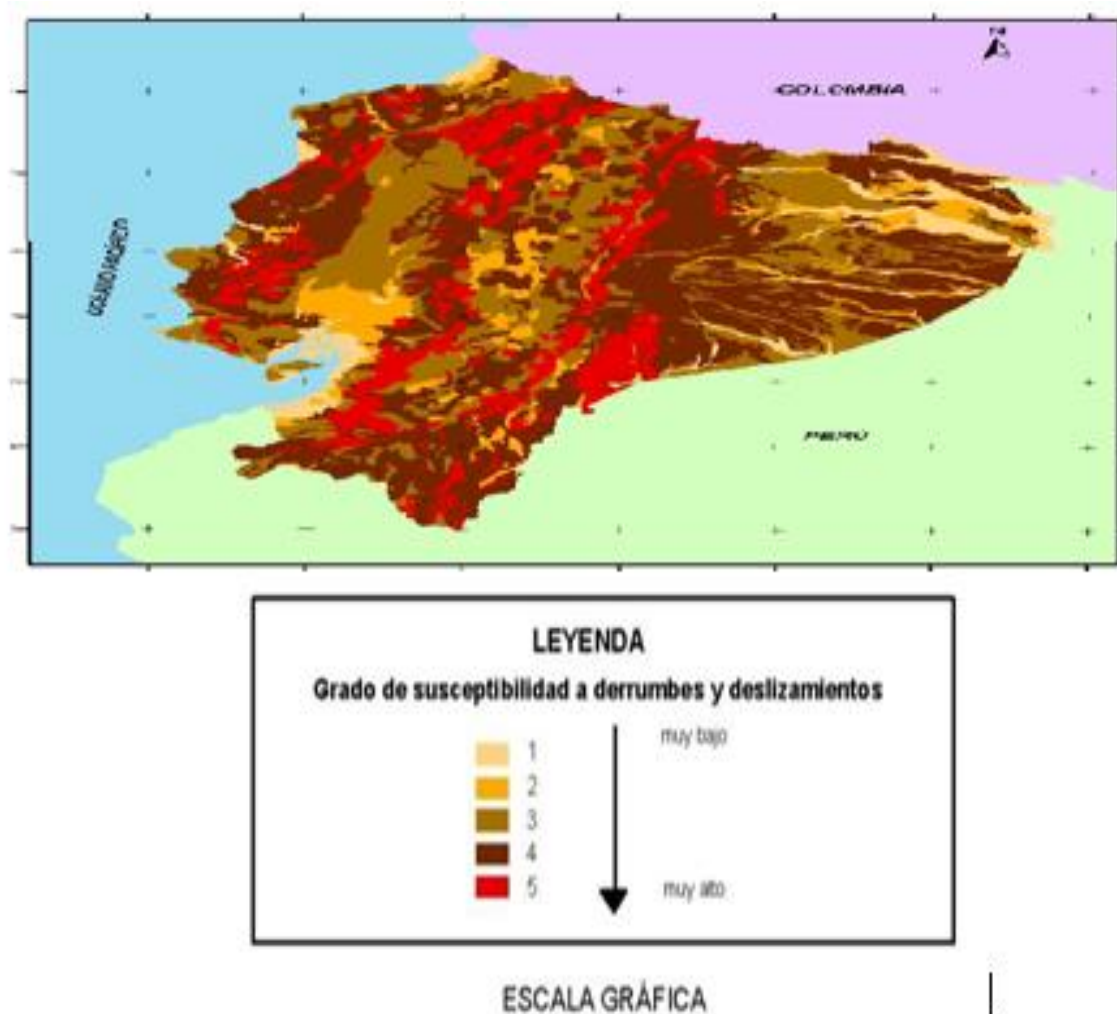


Figura 3-1 Susceptibilidad de derrumbes y deslizamientos en el Ecuador continental

Fuente: Zevallos, 1999

EL trabajo de investigación presentado permitirá medir los diferentes parámetros que definan los niveles de riesgo bajo, medio, alto y muy alto en zonas de desprendimientos, mediante el uso de la tecnología SDRadar en un ambiente de laboratorio, esperando que este estudio sirva como base para implementaciones que permitan tomar decisiones de construcción de carreteras, de prevención o evacuación de usuarios que transiten por estas zonas salvando vidas humanas y evitando pérdidas económicas importantes.

Es importante recordar algunos de los desprendimientos, más relevantes de nuestro país: los deslizamientos que produjeron roturas en el oleoducto transecuatoriano (erupción de El Reventador, 1987), la represa del río Pisque (1990); además, el ejemplo de un gigantesco deslizamiento estructural, es el de “La Josefina” ocurrido en 1993, el cual provocó el represamiento del río Paute y amenazó la ciudad de Cuenca, destruyó el dique de la represa y los daños directos fueron estimados en cerca de 150 millones de dólares; este evento causó la muerte de alrededor de 50 personas.

Otro ejemplo de derrumbes y deslizamientos fueron los ocurridos en el año 2011 en la carretera Aloag- Santo Domingo. Esta vía es muy transitada por que conecta a las regiones costa y sierra. Cuando existen deslizamientos produce paralización del comercio, pérdidas económicas, demora en los tiempos de viajes, entre otros¹.

Este último acontecimiento en especial es repetitivo en la actualidad. Que beneficioso que sería el estudio planteado ya que mediante un sistema de medición de parámetros en zonas de desprendimientos se crearía una base de datos de mediciones en diferentes condiciones y terrenos permitiendo evaluar niveles de riesgos , Con el estudio se podría realizar varios estudios complementarios o implementaciones que permitan en un futuro reducir el impacto de estos desastres, ya que según información estadística el 90% de las pérdidas por desprendimientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

1.4.2 Justificación Aplicativa

Gracias a la tecnología SDRadar se puede diseñar prototipos a bajo coste, confiables y adaptables a diferentes necesidades. Es por esto que en la presente investigación se han analizado la posibilidad de implementar el sistema de medición de niveles de riesgo con el uso de esta tecnología existente en las tarjetas USRP B210 gracias a la multi-aplicabilidad, buscando un sistema de medición de buena potencia.

Una vez conseguido un sistema de medición estable, se desarrolla la programación en MATLAB para obtener valores de permitividad, siendo el principal objetivo recoger varias señales o mediciones en los escenarios planteados para poder estimar la permitividad del material estudiado.

Por medio de simulaciones se obtiene valores de permitividad relativa y otros parámetros para determinar los niveles de riesgo en zonas de desprendimiento en un ambiente de laboratorio y de esta forma contribuir a futuros estudios e implementaciones.

¹ (<http://www.elcomercio.com/actualidad/automoviles-espera-apertura-aloag-santodomingo.html>, 2000)

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

- Desarrollar un sistema de medición de niveles de riesgos para zonas de desprendimientos a través de tecnología SDRadar en un ambiente de laboratorio.

1.5.2 Objetivos específicos

- Definir un software de simulación que ayude en el diseño de un sistema de medición para zonas de desprendimientos.
- Establecer a través de la tecnología SDRadar un sistema de medición para zonas de desprendimientos.
- Crear una base de datos de mediciones en diferentes terrenos y condiciones, para zonas de desprendimientos.

1.6 Hipótesis

El estudio de un sistema de medición en zonas de desprendimientos a través de tecnología SDRadar determinará niveles de riesgo en un ambiente de laboratorio

Variable independiente:

El estudio de un sistema de medición para zonas de desprendimientos con tecnología SDRadar

Variable Dependiente:

Determinará niveles de riesgo

1.6.1 Operacionalización de variables

Se va recoger información entregada por el sistema de simulación y medición para zonas de desprendimientos, los datos son obtenidos en hojas de cálculo y en gráficas

Tabla. 1-1: Operacionalización de variables

Variable independiente	Variable dependiente
El estudio de un sistema de medición para zonas de desprendimientos con tecnología SDRadar	Determinará niveles de riesgos.
Tipo de datos técnicos que se necesita evaluar (software de simulación, tecnología SDRadar)	Performance o grado de estabilidad que se espera obtener, sea mediante simulaciones y cálculos

Realizado por: Nancy P. Veloz.2017

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Movimientos en masa

Los procesos de movimientos en masa pueden ser provocados por varios factores como sismos, lluvias intensas, erupciones volcánicas, la acción del ser humano. Los deslizamientos y derrumbes, son denominados como procesos de movimientos en masa, esto debido a que cuando ocurren existe el traslado del material de un lugar a otro. Existen varios métodos geofísicos para adquirir información importante de desprendimientos como se observa en la tabla siguiente, los cuales se detallan por encontrarse técnicas de radar entre ellos:

Tabla. 1-2: Métodos geofísicos en deslizamientos

Sistema	Aplicaciones	Limitaciones
Resistividad eléctrica	Localizar límites entre materiales granulares y arcillosos, nivel freático e interfase suelo-roca.	Difícil de interpretar especialmente cuando los mantos no son horizontales.
Conductividad electromagnética	Similar a la resistividad pero ofrece un reconocimiento más rápido que la resistividad y permite determinar la calidad de la roca.	Difícil de interpretar.
Refracción sísmica	Determina las profundidades de los estratos y sus velocidades sísmicas características.	Las velocidades aumentan con la profundidad. Solo es útil cuando los mantos son gruesos y la información únicamente aporta dato promedio.
Ensayos sísmicos directos (uphole, downhole, y crosshole)	Se obtienen velocidades de estratos específicos, sus propiedades dinámicas y la calidad de la roca.	Los datos son promedios y pueden ser afectados por las características de la masa rocosa.
Microgravedad	Extremadamente precisa, localiza pequeños volúmenes de baja densidad utilizando equipos muy sensitivos.	El uso de equipos tan sensitivos y costosos en terrenos escarpados puede ser imprácticos y la interpretación genera muchas dudas por la influencia de la topografía.
Penetración de ondas de radar	Permite identificar objetos enterrados tales como ductos, cantos, interfaces de roca.	Las arcillas son prácticamente impenetrables por las ondas de radar.

Fuente: (McGuffey, 1996)

2.2 Radar

RADAR (Radio Direction and Ranging). Un radar es un equipo electrónico que mediante el uso de energía electromagnética que transmite y se refleja desde un objetivo. La señal reflejada se

conoce como señal ECO, la misma regresa al radar y es captada por la antenna receptora. El mismo que analiza la señal recibida y puede determinar varias características del objeto reflector como distancia, velocidad, entre otros.(LLALAU, 2017)

2.2.1 Funcionamiento

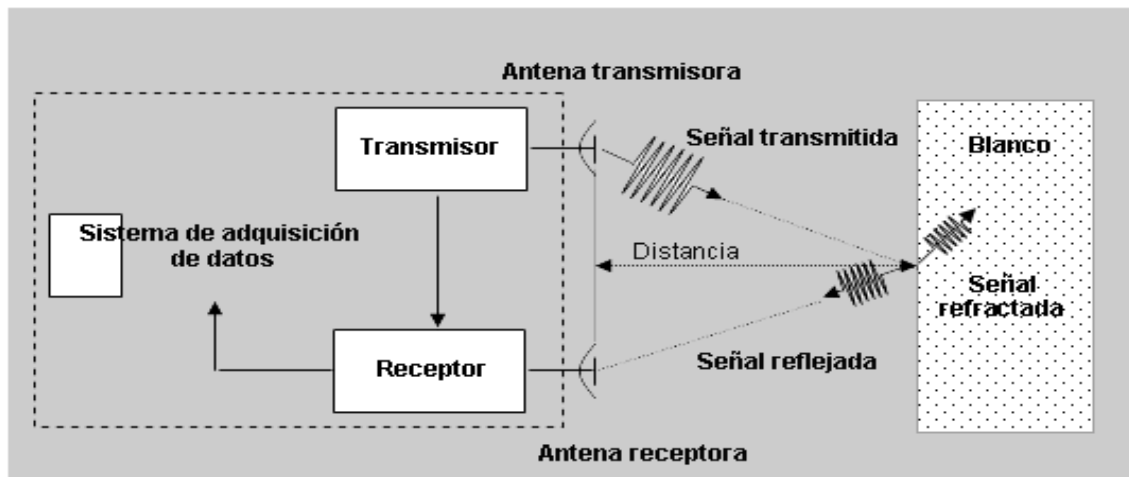


Figura 1-2 Principio del funcionamiento de un sistema radar

Fuente: <http://www.umag.cl/investigacion/dpa/radar/sistemas/ecuaciones/figura-02.gif>

Un radar básico se conforma de una antena transmisora y una receptora con una modulación específica. A continuación se explica detalladamente su funcionamiento según se aprecia en la figura 1-2.

Primero la energía electromagnética originada en el transmisor o señal transmitida con un ancho de banda específico viaja aproximadamente a la velocidad de la luz en el espacio libre y choca contra un medio, la señal reflejada regresa y es detectada por la antena receptora en donde se analiza y extraerá su información.(LLALAU, 2017)

2.2.2 Clasificación de los radares

Según su forma de onda se tiene los radares de Onda Continua y Radares pulsados, solo se hará referencia a los radares de Onda continua ya que este tipo de radar es el que se utilizará.

Radar de onda continua.-este radar se caracteriza porque emite continuamente la señal y utiliza una antena para la transmisión y otra para la recepción si se usa una onda continua modulada es posible adquirir información de distancia del objetivo.(LLALAU, 2017)

2.2.3 Generación de señales radar

La señal radar a utilizar depende de la aplicación del radar. Las formas de onda de radar más utilizadas según (Ozdemir, 2012), p.51) son:

- Pulso corto
- Onda continua (CW)
- OFDM
- Onda continua modulada en frecuencia (FMCW)
- Onda continua de frecuencia escalonada (SFCW)
- Pulso Chirp (frecuencia lineal modulada [LFM]).

Solo se hará referencia a FMCW

2.2.3.1 Onda continua modulada en frecuencia (FMCW)

El radar FMCW como su nombre indica utiliza una modulación en frecuencia, aumentando la frecuencia conforme aumenta el tiempo, como se puede observar en la Figura 2-2, está determinado según la ecuación 1-2.

$$tx(t) = A \cdot \cos(2\pi(f_o \pm c_r t)t) \text{Ecuación 1-2}$$

Donde, A= la amplitud de la señal, f_o el inicio de la frecuencia y c_r la velocidad de la señal chirp, el signo "+" indica un incremento en frecuencia de la señal chirp (upchirp) y el signo "-" un decremento de frecuencia de la señal chirp (downchirp). La característica principal de una señal upchirp es que la frecuencia de la onda aumenta a medida que avanza el tiempo. (Llalau, 2017)

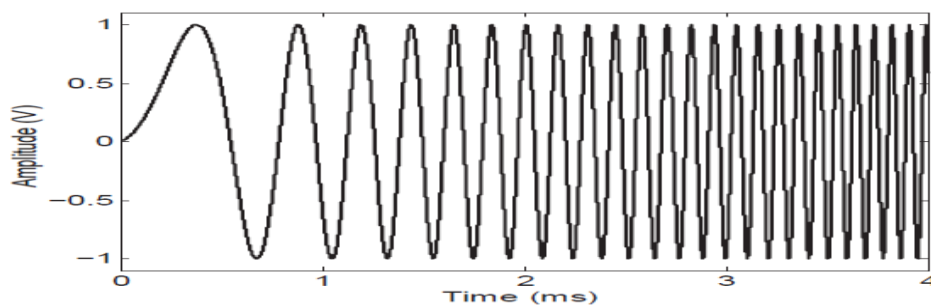


Figura 2-2 Señal upchirp

Fuente: Ozdemir, 2012, p.55

1.2.3.1.1 Funcionamiento Radar FMCW

Los radares de onda continua en frecuencia modulada también llamados radares FMCW tienen una arquitectura que es muy parecida a los radares tipo Doppler. Los dos utilizan el cambio de frecuencia para determinar el rango o velocidad, su arquitectura se basa en un diseño que permite cambiar la frecuencia conforme sea la distancia del objetivo.

Es importante detallar la arquitectura del radar FMCW porque la misma lógica se ocupara en el diseño de nuestro radar para la medición de niveles de riesgo mediante la permitividad, en base a lo expuesto y según lo analizado por (MEJIA, 2017)

La figura 3-2 presenta el diagrama de bloques de las 4 etapas de un radar FMCW.

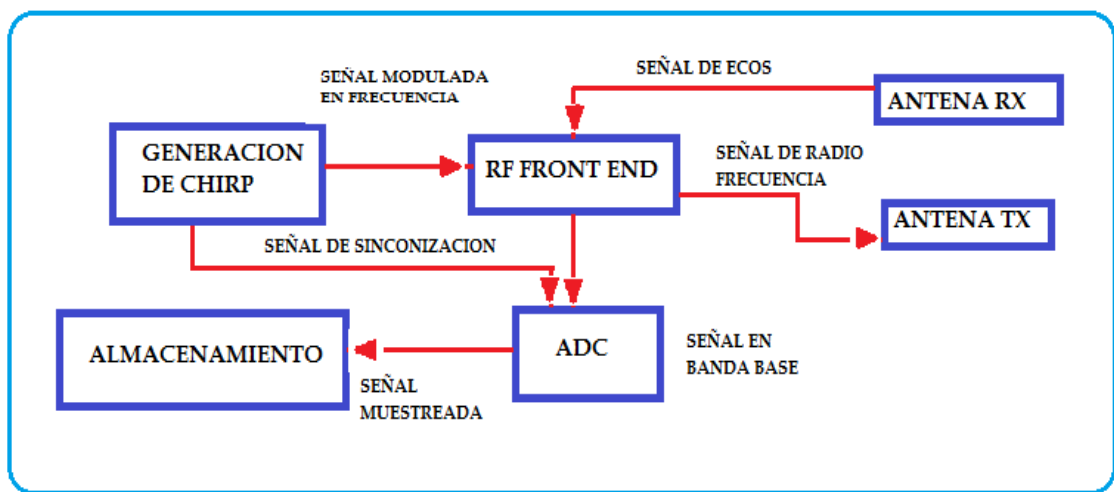


Figura 3-2: Etapas de un radar FMCW

Realizado por: Canelo y Quiñones .2015

La primera etapa se encarga de la generación de la señal modulada en frecuencia o señal chirp, la modulación usada es la LFM o modulación lineal de frecuencia. La segunda etapa encargada de la transmisión y recepción de las señales llamado RF frontend. Internamente en el transmisor se encuentra un VCO(Oscilador controlado por voltaje) usado generalmente para la amplificación o retroalimentación, un LNA(LowNoiseAmplifier), un splitter(repetidor) y una antena para la transmisión. En el receptor se encuentra un LNA, un mezclador y un filtro pasa bajos, para conseguir la señal en banda base. La tercera etapa es la adquisición de la señal de banda base para lo cual se utiliza un DAC (Conversor análogo digital), la cuarta etapa es la recolección de dicha señal del radar.

Se desarrollara y simulara el funcionamiento del radar FMCW con cada una de las etapas explicadas anteriormente en GNU Radio para obtener valores de permitividad de las zonas de desprendimiento, que nos permitan determinar niveles de riesgo.

El radar FMCW tiene una referencia en tiempo máximo en el que se puede medir la distancia de un objeto. Esta distancia como ya lo analizamos depende de la resolución del sistema, y del ancho de banda de la señal.

$$k = \frac{f_o - f_i}{t_{\max}} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

En la ecuación 2-2 se muestra la constante k, que es representada por la diferencia de las frecuencias iniciales y finales es decir el ancho de banda de la señal y el tiempo máximo. La distancia máxima a la que el radar FMCW puede trabajar depende del tiempo máximo como se observa en la figura 4-2.

En la figura 4-2 se muestra la relación de k que para este caso es la pendiente de la gráfica con el tiempo máximo y el ancho de banda.(MEJIA, 2017)

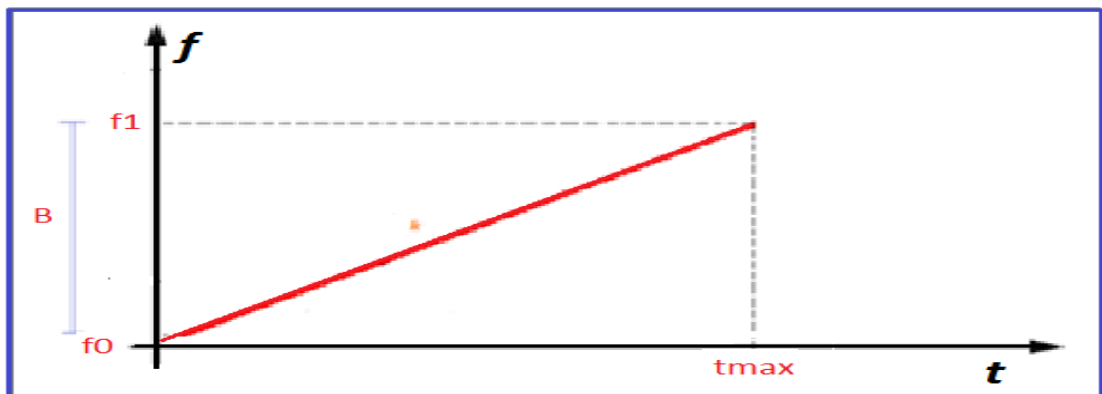


Figura 4-2: Relación de la pendiente k con el tiempo máx.y ancho de banda

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

Como se observa en la figura 4-2 la señal que se transmite aumenta o disminuye según varia la frecuencia, entonces cuando la señal generada choca en un objetivo se produce una señal de dirección contraria y frecuencia diferente a la transmitida la misma que es capturada por la antena receptora, gracias a esa diferencia en frecuencia se obtiene un diferencia de tiempo Δ_t . Estos valores nos permiten calcular la distancia del objetivo. En la figura 4-2 se muestra como se miden la diferencia de frecuencia df y tiempo entre la señal transmitida y la señal recibida.

$$R = c \frac{\Delta f}{2\text{cr}} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

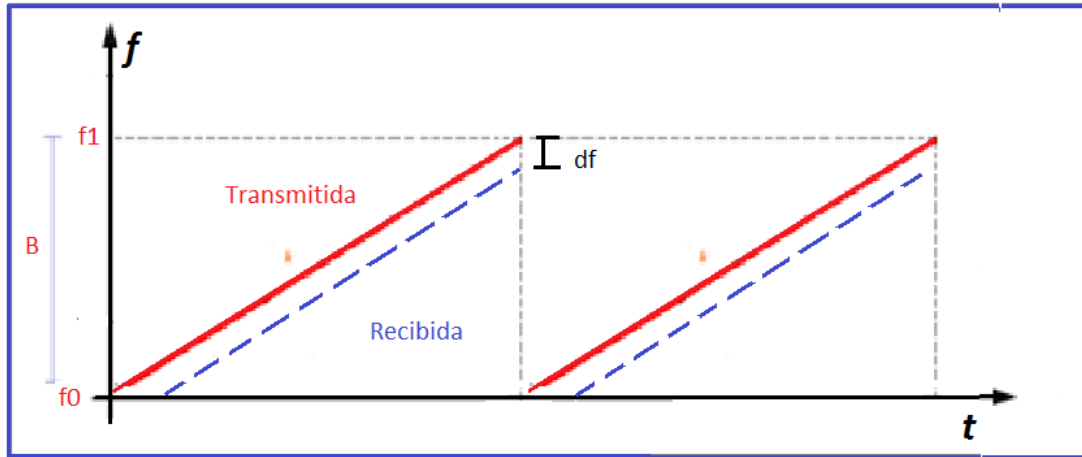


Figura 5-2: Señal FMCW lineal transmitida y recibida

Fuente: Nancy, P. Veloz, 2017.

No debemos olvidar se debe aplicar el teorema de muestreo de Nyquist, si necesitamos representar la función de la señal FMCW del dominio del tiempo al de frecuencia y determinar la frecuencia de muestreo f_s al menos el doble de la frecuencia máxima f_{max} como nos detalla la ecuación 4-2. (MEJIA, 2017)

$$f_s > 2f_{max} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

2.2.4 Parámetros de un Sistema Radar FMCW

Los parámetros detallados son para un radar FMCW y son conocimientos básicos que se deben conocer para interpretar la información arrojada por estos dispositivos entre los más importantes tenemos:

2.2.4.1 Potencia de recepción

Se asume que el transmisor y receptor se encuentran en el mismo lugar, es importante detallar el cálculo de la potencia de recepción según la ecuación 5-2.

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4} \quad \text{Ecuación 5-2}$$

Donde:

P_r : Es la potencia de receptor

P_t : Es la potencia transmitida

- G_t : Es la ganancia de la antena de transmisión
- G_r : Es la ganancia de antena de recepción
- λ : Es la longitud de onda portadora en metros
- σ : Es la sección transversal del radar (RCS)
- R : Es el rango o distancia del radar al blanco en metros

Como se observa en la Ecuación 5-2 la potencia P_r o potencia en el receptor es muy pequeña debido a que es inversamente proporcional a la distancia elevada a la cuarta potencia. Este es un parámetro importante tomado en cuenta en nuestro proyecto para determinar la distancia apropiada para tener una buena potencia en el receptor. (MEJIA, 2017)

2.2.4.2 Ancho de Banda

Una señal FMCW graficada en función de la frecuencia vs el tiempo puede ser lineal de forma creciente, decreciente o triangular, la frecuencia de la señal aumenta de una frecuencia de inicio o corte f_c a una frecuencia máxima f_{max} durante la primera mitad del triángulo, y disminuye en la segunda mitad. El ancho de banda se determina mediante la ecuación 6-2 que se encuentra en la parte de abajo. (Wang, 2008), p.130)

$$B = f_{max} - f_c \quad \text{Ecuación 6-2}$$

2.2.4.3 Resolución

La resolución es una medida en la que un radar puede diferenciar entre diferentes objetivos. La resolución de un sistema de radar FMCW lineal depende del ancho de banda de la señal chirp y se puede obtener con la ecuación 6-2.

$$\rho_r = \frac{c}{2B} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

Donde c es la velocidad de la luz en el espacio libre y B es el ancho de banda de la señal chirp que se describió anteriormente (Charvat, 2014), p.75).

Para entender mejor el concepto de resolución se hará un ejemplo con ancho de banda de 50Mhz el cual nos da una resolución de 3m es decir si los objetivos se encuentran a 1m el

sistema los detectara a 3m mientras más ancho de banda posea nuestro radar mejor es la resolución.

2.2.4.4 Distancia máxima

La distancia máxima de la señal recibida depende del tiempo final t_f como se muestra en la Ecuación 8-2, mientras mas grande sea el valor del tiempo final mas grande sera la distancia maxima teorica.

$$d_{mt} = \frac{c * t_f}{2} \quad \text{Ecuación 8-2}$$

La distancia máxima práctica es decir en escenarios reales es la mitad de la distancia máxima teórica. (Ecuación 8-2), el mismo principio de la distancia máxima práctica se aplica aquí. (MEJIA, 2017)

$$d_{mp} = \frac{c * t_f}{4} \quad \text{Ecuación 9-2}$$

2.2.4.5 Radargrama

El radar FMCW nos proporciona información analógica en el dominio de la frecuencia espacial, que una vez procesada permite determinar la distancia del objetivo entre otros parámetros.

Para conseguirlo se debe multiplicar de la señal transmitida (Figura 6-2) o señal chirp por la señal recibida (Figura 7-2) la cual es la misma señal transmitida con la dirección opuesta y de amplitud atenuada, la multiplicación se realiza en el dominio del tiempo según (Figura 8-2), luego se aplica la transformada inversa discreta de Fourier (IDFT) con esta operación se convierte del dominio de la frecuencia espacial al dominio de la frecuencia temporal.

En la figura 9-2 se puede apreciar la IDFT en el dominio de la frecuencia espacial mientras que la figura 10-2 nos muestra la IDFT en el dominio de la frecuencia temporal en donde el pico más alto representa la distancia a la que se encuentra el objetivo. (LLALAU, 2017)

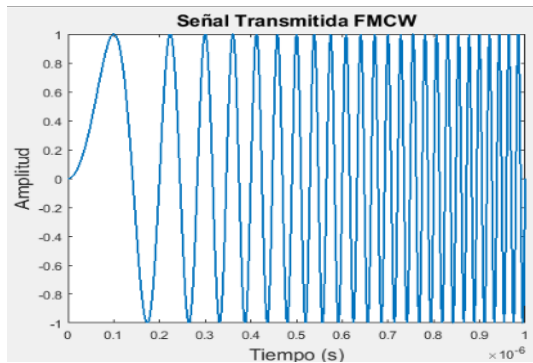


Figura 6-2 Señal Chirp transmitida

Fuente: (LLALAU, 2017)

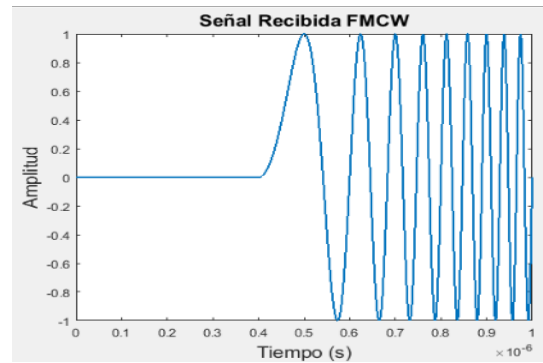


Figura 7-2 Señal Chirp recibida

Fuente: (LLALAU, 2017)

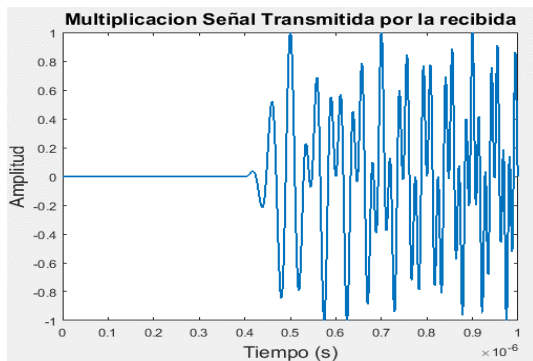


Figura 8-2 Multiplicación en el dominio del tiempo señal transmitida por la señal recibida.

Fuente:(LLALAU, 2017)

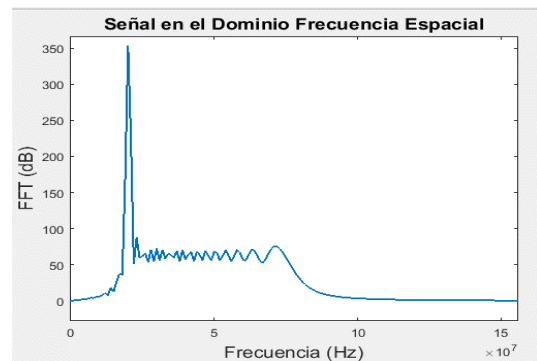


Figura 9-2Radargrama en el dominio de la frecuencia espacial.

Fuente: (LLALAU,2017)

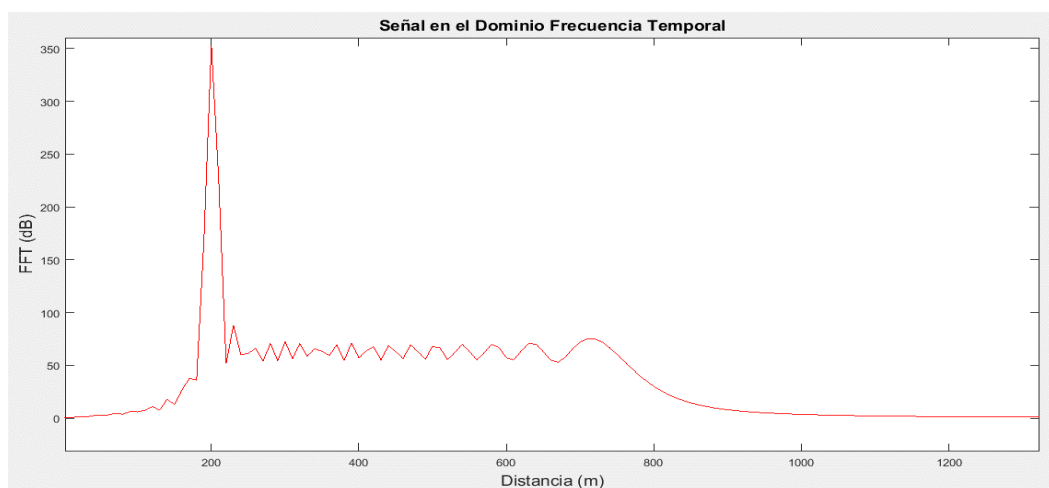


Figura 10-2Radargrama en el dominio de la frecuencia temporal

Fuente: (LLALAU, 2017)

El Radargrama es una herramienta muy importante para interpretar la distancia del objetivo y otros valores de estudio como se detallara más adelante.

2.2.5 Bandas de frecuencia asignada a radar

Las frecuencias de operación de los Radares se detallan a continuación debido a su importancia al definir la frecuencia de trabajo de las antenas a utilizarse y el ancho de banda necesario para nuestro proyecto, las frecuencias usadas generalmente son desde 220MHz a 35GHz, aunque dependiendo de su aplicación las frecuencias varían de 2MHz a 94GHz. Asignados dentro del espectro electromagnético que se detalla en la siguiente figura. Según(Merchán, 2016)

En la Figura 11-2 se muestra la asignación de frecuencias para radar.

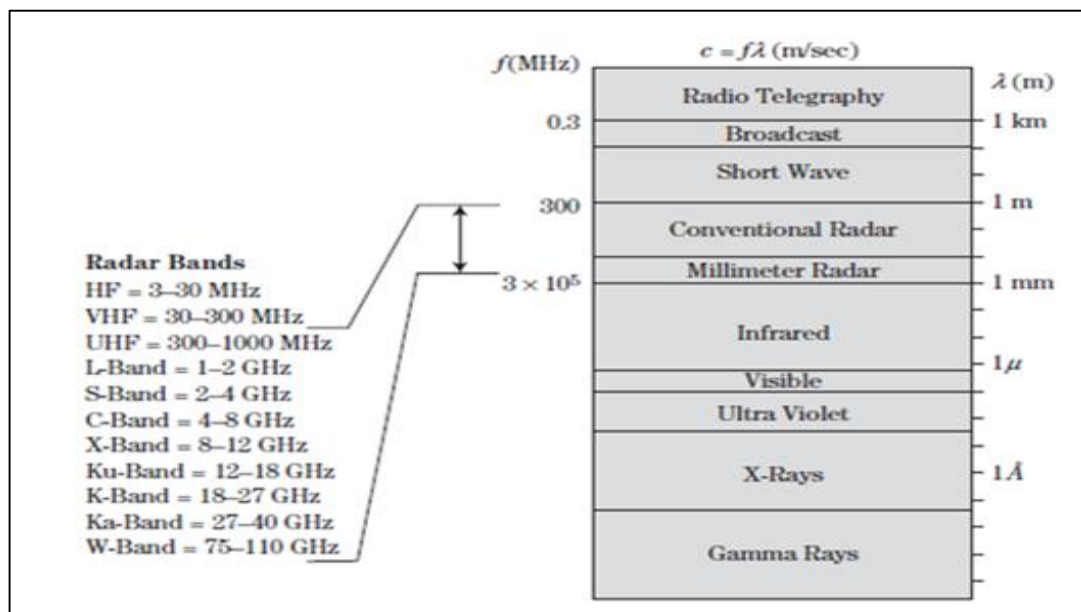


Figura 11-22: Bandas de frecuencias usadas para los radares

Fuente: (Richard, 2010 pág. 8)

De acuerdo a la Figura 11-2 las bandas para radares corresponden.

VHF, UHF, L: Son utilizadas para radares de exploración y búsqueda.

L, S, C: Utilizadas para búsqueda y seguimiento de objetos.

En la banda C correspondiente a 5Ghz es donde se escoge utilizar una antena con esa frecuencia de trabajo

C, X: Para controlar incendios y obtener imágenes.

X, Ku, K, Ka, W: Utilizadas para la detección de misiles.

En la tabla 2-2 se puede observar las bandas de frecuencia asignadas según la IEEE, es importante saber que existe otra nomenclatura más actual, es así que según esta tabla se trabajara en la banda G.(MEJIA, 2017)

Tabla 2-2: Rango de frecuencias asignado a radares según IEEE

Designación de Frecuencias	Rango de frecuencias en GHz(estándar IEEE)	Rango de frecuencias en GHz(estándar IEEE)
HF	0.003 – 0.03	A
VHF	0.03 – 0.3	A<0.25; B>0.25
UHF	0.3 – 1.0	B<0.5; C>0.5
L_Band	1.0 – 2.0	D
S_Band	2.0 – 4.0	E<3.0; F>3.0
C_Band	4.0 – 8.0	G<6.0; H>6.0
X_Band	8.0 – 12.5	I<10.0; J>10.0
Ku_Band	12.5 – 18.0	J
K_Band	18.0 – 26.5	J<20.0; K>20.0
Ka_Band	26.5 – 40.0	K
V & W o MMW	Normal > 34.0	

Fuente: (Bassem, 2013 pág. 4)

2.3 SDRadar

Software Defined Radar (SDRadar) es una tecnología de radar novedosa debido a la posibilidad de realizar la mayor parte de las operaciones básicas como la mezcla, el filtrado, la modulación y demodulación, con módulos de software fáciles de identificar sin la necesidad de adquirir hardware para lograr resultados similares.

Una de las ventajas principales de utilizar SDRadar es la disminución de recursos económicos innecesarios y aumentarla eficiencia del sistema, ya que la generación de la señal y los parámetros de procesamiento de señal se pueden realizar en software de simulación y ser modificados fácilmente según las necesidades del proyecto para cumplir con el objetivo trazado.

Una alternativa para desarrollar un sistema de radar es la utilización de tarjetas (USRP) transceptor universal Software Radio Peripheral (LLALAU, 2017)

La ESPOCH (Escuela superior politécnica de Chimborazo) en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones cuenta con las tarjetas USRP modelo: B210 por lo

tal razón se realizara el análisis de funcionamiento y pruebas con esta tarjeta para definir si se utilizara o no.

2.3.1 Tarjeta USRP B210

Las tarjetas USRP modelo B210 Ettus Research TM, son de la familia de productos Universal Software Radio Peripheral (USRP TM). De la compañía de National Instruments, esta compañía se especializa en SDR plataformas de radio definidas por software a nivel macro.

Es un transceptor (transmisor y receptor), de fácil movilidad por su tamaño y peso, su configuración por software libre o código abierto, permite tener el acceso automático y necesario para implementar un sinnúmero de aplicaciones. Dentro de su estructura posee el (UHD) USRP Hardware Driver que permite la comunicación de ida y vuelta entre el ordenador y la tarjeta USRP B210, además de poder trabajar en varios sistemas operativos Windows, MAC o LINUX, el mismo que se escogerá según los recursos que se dispongan.

2.3.1.1 Características

El USRP modelo B210 tiene una arquitectura totalmente completa, su placa consta de ocho puertos, entradas adicionales para antenas GPS. Para la comunicación entre el computador y la tarjeta posee un puerto USB 3.0, con frecuencia continua de 70 MHz - 6 GHz, combina el transceptor de conversión directa RFIC AD9361 que proporciona hasta 56MHz de ancho de banda teórico, un FPGA Spartan6 abierto y reprogramable y un puerto de alimentación de bus como se observa en la figura 12-2.

El Hardware Driver (UHD) es una de sus principales componentes ya que este permite la interacción para desarrollar con GNU Radio, una infinidad de prototipos, modificando los valores de frecuencia, ancho de banda, tipos de modulación y sus parámetros etc. Todo esto lo encuentra detallado en (<https://www.ettus.com/>)

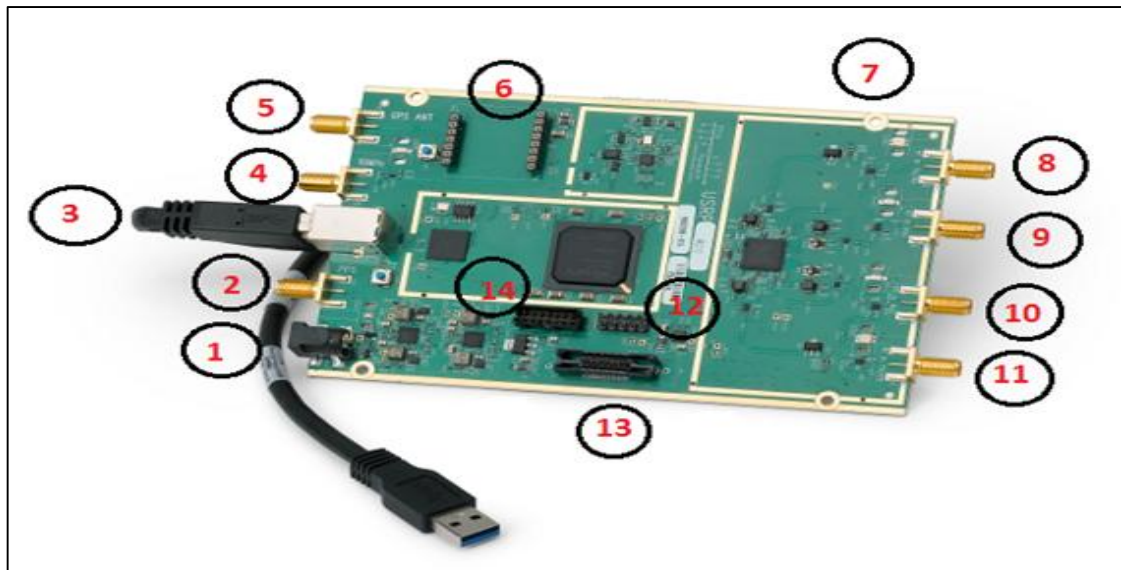


Figura 12-2: Estructura física USRP B210

Fuente: <https://www.ettus.com/product/details/UB210-KIT>

- 1) Alimentación externa para 6v o 3v para puertos de GPS o GPSDO
- 2) Entrada externa PPS
- 3) Puerto USB 3.0
- 4) Entrada externa 10 MHz
- 5) Antena GPS
- 6) Socket GPSDO
- 7) Ranura para sujetar la tarjeta
- 8) TX/RX canal 2
- 9) RX2 canal 2
- 10) RX2 canal 1
- 11) TX/RX canal 1
- 12) GPIO Header
- 13) Conector Mictor
- 14) JTAG Header

Esta detalle de los puertos y componentes según (MEJIA, 2017)

2.3.1.1.1 Velocidad máxima de la tarjeta

La velocidad máxima teórica de la tarjeta es de 50Mbps/s, esta velocidad está muy ligada con el ancho de banda según detalla (Merchán, 2016) debido a que se trabaja con muestras complejas, el ancho de banda B real con el cual se definió es 25MHz.

Reemplazando el valor de ancho de banda en la ecuación 7-2 se obtiene:

$$\rho_r = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 25 \text{ MHz}}$$

$$\rho_r = 6 \text{ m}$$

La resolución del sistema de medición es de 6m. Se menciona este parámetro porque esta será la distancia que arroja nuestro sistema de medición, mientras más grande sea el ancho de banda tendremos una resolución más pequeña permitiendo ser más precisos en la ubicación del objetivo.

En la tabla 3-2 detalla la distancia que arroja el sistema de medición del radar de acuerdo a la resolución.

Tabla 3-2: Resolución del sistema de medición

Distancia(m)	Distancia calculada del radar (m)
0 <dist<= 6	6
6 <dist<= 12	12
12 <dist<= 18	18
18<dist<= 24	24

Fuente: (Potentialities of USRP Based Software Defined Radar Systems, 2013)

2.3.1.1.2 Potencia de la tarjeta

La ganancia de la tarjeta USRP B210 gracias al bloque del GNU Radio, UHD permite modificar los valores de potencia de transmisión y recepción hasta 80dBm.

2.3.1.1.3 Puerto USB de la tarjeta

El puerto 3 de la tarjeta es el puerto USB 3.0 el mismo que permite la comunicación automática con el computador , en la tabla 4-2 se detalla valores de velocidad y ancho de banda para los dos puertos USB 2.0 y 3.0

Se debe trabajar con el puerto USB 3.0 para minimizar los tiempos de procesamiento en la tarjeta, adicional evitarnos que el sistema se cuelgue por la falta de capacidad de comunicación.

Tabla 4-2: Velocidad y ancho de Banda USB 2.0 y 3.0

PARÁMETROS	2.0	3.0
Velocidad (Gbps)	0.48	3.2
Ancho de banda (MHz)	8	56

Realizado por: Julio C. Mejía, 2017

2.3.1.2 Estructura funcional

En la Figura 13-2, se detalla la estructura funcional lógica de la tarjeta USRP modelo B210 de mejor forma y se expone las características de cada bloque.

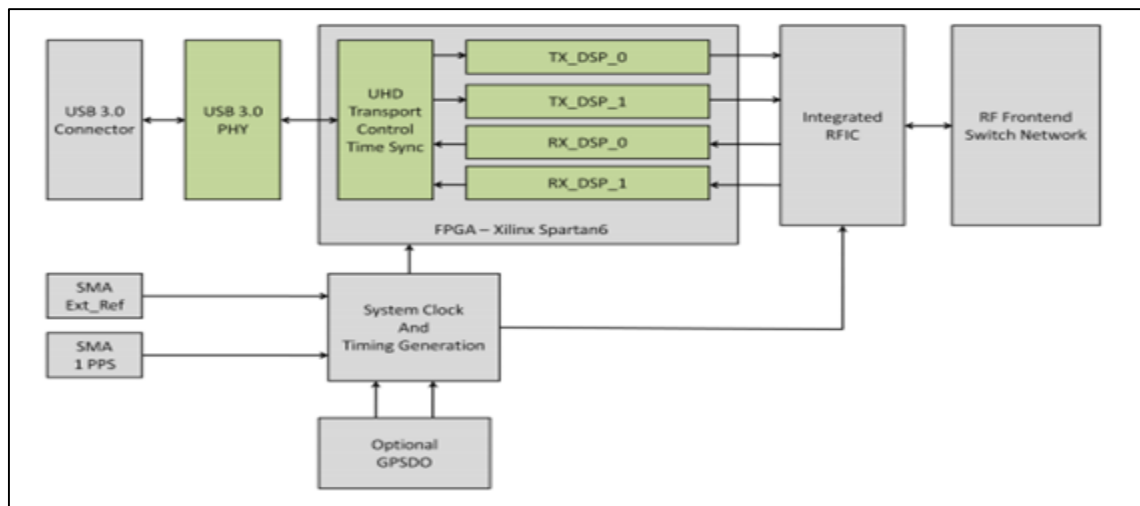


Figura 13-2: Diagrama de bloques USRP

Fuente: https://www.ettus.com/content/files/b200-b210_spec_sheet.pdf

El bloque de unidad lógica USB 3.0 PHY simboliza el enlace físico con la unidad lógica de la tarjeta. El puerto USB 3.0 es el vínculo entre el ordenador y la tarjeta, es esencial disponer de este puerto en la computadora a utilizar debido a que la velocidad de USB 3.0 es mayor a la USB 2.0, mejorando significativamente el tiempo de respuesta de los procesos.

La parte esencial de la tarjeta la compone el bloque FPGA en este bloque se ejecuta la programación y procesamiento de la señal, dispone internamente de varios bloques lógicos que permite realizar prototipos de sistemas muy simples hasta el más sofisticado de los sistemas.

Después llegamos al integrado RFIC (Comunicación Inalámbrica por radio frecuencia) que como su nombre lo indica permite realizar comunicaciones inalámbricas, la tarjeta tiene para esta finalidad dos puertos de Transmisión y dos de Recepción que se comunican con el RF Front-End este bloque está compuesto de circuitos entre la antena y la mezcladora.

Existen varios software libres y pagados que se utiliza para el procesamiento y tratamiento de señales, pero USRP B210 entre sus características soporta Matlab y siendo un software con el que se ha trabajado anteriormente presentando mucha facilidad en su programación se lo detalla a continuación.(MEJIA, 2017)

2.4 Matlab

MATLAB (Laboratorio de Matrices), es un software utilizado en diferentes áreas para procesamiento de información de una forma ágil y sencilla. Este software permite realizar programación de vectores, matrices y POO (programación orientada a objetos).

Gracias al IDE (Entorno de Desarrollo Integrado) permite tener una interfaz amigable en el desarrollo de scripts. El lenguaje “m” es propiamente diseñado de MATLAB, además de que se puede crear interfaz de usuario o GUI, y adicional se puede interactuar con otros programas que no utilicen el lenguaje “m”. Mediante su programación se puede realizar algoritmos sencillos o complicados incorporando archivos .txt o .dat, este software tiene un amplio campo de aplicación en el área de las comunicaciones según

2.5 GNU Radio

GNURadio es un software no licenciado de código abierto utilizado entre varias cosas para implementar sistemas de radio definidas por software, entre sus componentes se detalla su entorno gráfico sencillo e intuitivo, su objetivo primordial es el de procesar de forma completa una señal. Posee una gran cantidad de bloques desarrollados en lenguaje Python y el procesamiento en C++, los bloques más utilizados son: filtros, ecualizadores, codificadores, decodificadores, etc., desarrolladas justamente para sistemas de radar, este software solo trata con datos digitales en banda base y para enviar señales con frecuencias específicas se utiliza una tarjeta o dispositivo como por ejemplo la USRP.

GNURadio además de sus bloques determinados permite desarrollar otros bloques según los requerimientos del prototipo que se desea obtener, para ello se deben conocer y programar en lenguaje Python. Entre los múltiples ejemplos de prototipos que se pueden desarrollar gracias a

GNU RADIO Y USRP se encuentran transmisores, receptores, etc. Gracias a la ayuda de este software se dispone de varios ejemplos.

Para la comunicación entre el software GNURadio y la tarjeta USRP B210 se requiere utilizar el bloque UHD USRP Sink o Source (controlador de hardware USRP), estos bloques se encuentran listos para configurarlos (potencia, frecuencia central, ganancia, ancho de banda y la antena que se utilizara etc.)(GNURADIO, 2017)

2.6 Reflectividad

Para comprender mejor el comportamiento de lo que sucede al hacer incidir una onda sobre las estructuras de varias capas, se incluyó la figura 14-2 que como se puede observar en ella se presenta una onda reflejada en la superficie de cada una de las capas que formen la estructura. Todas las ondas reflejadas por cada una de las capas interfieren entre sí para originar una onda reflejada total.(FLORES, 2013)

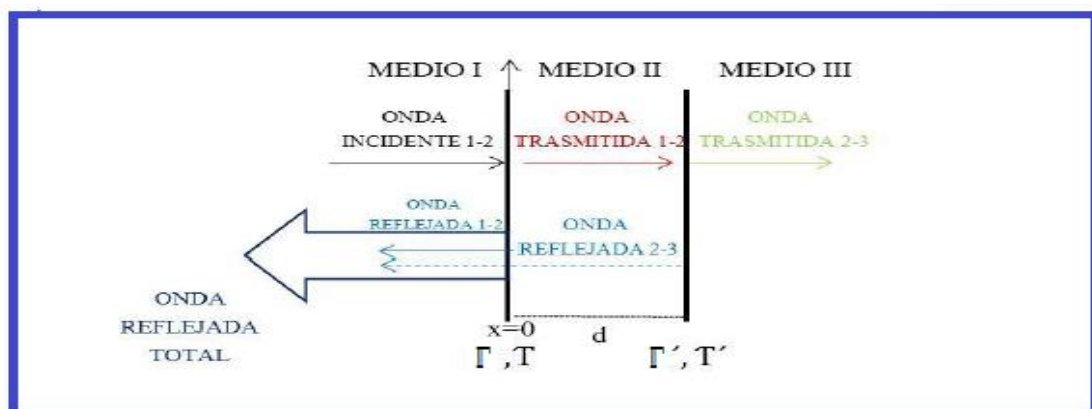


Figura 14-2: Onda reflejada en una estructura formada por varias capas.

Realizado por: Flores, 2013, pág. 69.

En este fenómeno aparece el índice de reflexión (Γ), y de transmisión (T), el uno indica la cantidad de onda reflejada y el otro la cantidad de onda transmitida respectivamente.

La Reflectividad R mide la relación entre la onda reflejada y la onda incidente sobre una estructura. Esto quiere decir que la energía que se registra en los Radargramas debida a una reflexión es igual a la energía inicial de la onda multiplicada por una serie de funciones (atenuación, expansión del frente de ondas, ganancias, pérdidas y efectividad de las antenas) y por el coeficiente de reflexión. En términos de amplitudes, se tiene que:

$$A_r^2 = H \Gamma A_0^2 \quad \text{Ecuación 10-2}$$

Siendo A_r la amplitud registrada de la reflexión, A_0 la amplitud inicial, H la función de efectos de atenuación, constante para la misma antena, el mismo medio y la misma distancia antena superficie y (Γ) el coeficiente de reflexión.

Si se mantienen todos los parámetros que hacen variar la función H (distancia entre la antena y el reflector, material entre ambos, antena y parámetros de adquisición de datos) y se obtiene la reflexión contra una superficie metálica, como el coeficiente de reflexión en este caso es la unidad (se ocasiona una reflexión total o, una transmisión nula), podemos comparar las amplitudes obtenidas en el caso de la reflexión en el metal y en el medio que se estudia. Entre estos dos casos, en la expresión 10-2 sólo cambia el valor de la amplitud medida y el coeficiente de reflexión que, en el caso del metal es la unidad y en el caso del medio depende del contraste entre la permitividad del material existente entre la antena y la superficie con la permitividad del medio. Podemos comparar en este caso las amplitudes, obteniendo (Hugo, 2017)

$$A_r^2 = \Gamma A_M^2 \quad \text{Ecuación 11-2}$$

Siendo A_M la amplitud medida para la reflexión en el metal y A_r la amplitud reflejada en la superficie del material estudiado. Despejando Γ de la ecuación 11-2 se obtiene el valor del índice de reflexión conociendo las amplitudes de las señales reflejadas del conductor y el material

$$\Gamma = \frac{A_r^2}{A_M^2} \quad \text{Ecuación 12-2}$$

Conociendo el índice de reflexión se puede calcular la permitividad relativa. Se consultó sobre la fórmula para el cálculo del índice de reflexión dependiendo de las permitividades de los medios y según se detalla en la tesis de caracterización de la permitividad en materiales dieléctricos desarrollada por (MORENO, 2015)

Se obtuvo la ecuación 13-2

$$\Gamma = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}} \quad \text{Ecuación 13-2}$$

Dónde:

Γ = índice de reflexión

ϵ_1 = permitividad de medio 1 aire

ϵ_2 = permitividad de medio 2 (tierra arena o macadán)

Mediante el análisis anterior se obtuvo el valor del índice de reflexión, por tal razón se despeja la permitividad del medio2 que es la que se desconoce.

$$\begin{aligned}\Gamma(\sqrt{\epsilon_1}+\sqrt{\epsilon_2}) &= \sqrt{\epsilon_1}-\sqrt{\epsilon_2} \\ \Gamma\sqrt{\epsilon_1}+\Gamma\sqrt{\epsilon_2} &= \sqrt{\epsilon_1}-\sqrt{\epsilon_2} \\ \Gamma\sqrt{\epsilon_2}+\sqrt{\epsilon_2} &= \sqrt{\epsilon_1}-\Gamma\sqrt{\epsilon_1} \\ \sqrt{\epsilon_2}(\Gamma+1) &= \sqrt{\epsilon_1}-\Gamma\sqrt{\epsilon_1}\end{aligned}$$

El material entre la antena y la superficie del medio suele ser aire, de forma que la permitividad relativa del aire es igual a 1 ($\epsilon_1=1$) se reemplaza este valor en la ecuación, despejamos y sacamos la permitividad relativa del medio 2(ϵ_2)

$$\begin{aligned}\epsilon_1 &= 1 \\ \sqrt{\epsilon_2}(\Gamma+1) &= 1-\Gamma \\ \epsilon_2 &= \left(\frac{1-\Gamma}{1+\Gamma}\right)^2\end{aligned}\quad \textbf{Ecuación 14-2}$$

2.6.1 Ecuación de Maxwell.

La interacción entre un material o medio y un campo electromagnético se describe mediante las ecuaciones de Maxwell y las relaciones constitutivas, que se detallan a continuación. Esta interacción queda establecida, por dos parámetros constitutivos: la permitividad eléctrica ϵ y la permeabilidad magnética μ , conocidos como los parámetros electromagnéticos de un material.

A continuación detallaremos las Ecuaciones de Maxwell que describen los fenómenos electromagnéticos clásicos, la razón de hacerlo es que todas las ondas electromagnéticas afectan a todos los medios, en este caso a los materiales utilizados en la medición, por ello es importante recordar estos principios de comportamiento y se formulan del siguiente modo:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \textbf{Ecuación 15-2}$$

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad \textbf{Ecuación 16-2}$$

$$\nabla \times \vec{D} = \rho \quad \textbf{Ecuación 17-2}$$

$$\nabla \times \vec{B} = 0 \quad \text{Ecuación 18-2}$$

Donde E es el campo eléctrico, H es el campo magnético, D es la densidad de flujo eléctrico, B es la densidad de flujo magnético, J es la densidad de corriente eléctrica y ρ es la densidad de carga eléctrica. Si la región del espacio no tiene carga eléctrica libre, entonces $\rho = 0$. Además, si el medio es isotrópico y lineal, D, J y B se relacionan con las intensidades de E y de H mediante las llamadas ecuaciones constitutivas, que se muestran a continuación:

$$\vec{D} = \epsilon * \vec{E} \quad \text{Ecuación 19-2}$$

$$\vec{B} = \mu * \vec{H} \quad \text{Ecuación 20-2}$$

$$\vec{J} = \sigma \vec{E} \quad \text{Ecuación 21-2}$$

Esta información encontrada en la siguiente fuente (NERI, 1999)

El símbolo del asterisco indica que pueden adoptar valores complejos. Estos parámetros electromagnéticos se definen como:

$$\epsilon^* = \epsilon_0 * \epsilon_r \quad \text{Ecuación 22-2}$$

$$\mu^* = \mu_0 * \mu_r \quad \text{Ecuación 23-2}$$

Donde $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$ y $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$, Son la permitividad y la permeabilidad en el vacío, respectivamente, ϵ_r es la permitividad relativa, μ_r La permeabilidad relativa y σ la conductividad del material.

Estas ecuaciones indican que la respuesta de un material a una onda electromagnética está determinada, principalmente, por tres parámetros constitutivos, la permitividad, la Permeabilidad y la conductividad. La ϵ describe el comportamiento de un material ante un campo eléctrico y la μ ante un campo magnético. El presente trabajo de investigación se centra en el estudio de las mediciones de la permitividad relativa por ello se describe a continuación (FLORES, 2013)

2.6.2 Permitividad eléctrica

La permitividad es un parámetro físico que describe cómo un campo eléctrico afecta y es afectado por un medio. Se denomina con la letra griega “épsilon” (ϵ). Ésta puede ser dependiente de otros parámetros, como de la temperatura, la dirección de propagación. Se muestra en la figura 15-2 los valores de la permitividad relativa para algunos materiales, la permitividad relativa de un gran número de materiales es un número complejo

Del siguiente modo: donde ϵ' corresponde a la parte real y ϵ'' a la parte imaginaria. El cociente entre ambas define la tangente de pérdidas como:

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' \quad \text{Ecuación 24-2}$$

La parte real de la permitividad, o constante dieléctrica, es la parte reactiva de la permitividad, es decir, representa una medida relativa de la densidad de energía electromagnética que se almacena en el interior del material. El mínimo valor que puede adoptar es 1, que corresponde al vacío. El aire posee una constante dieléctrica relativa de 1.0006, aproximadamente, y el resto de sólidos y líquidos posee una constante dieléctrica relativa mayor que 1. Su valor depende de muchos factores diferentes: la densidad, la humedad, la temperatura, composición, microestructura o la frecuencia. La parte imaginaria de la permitividad, o factor de pérdidas, es una medida de lo disipativo que es el medio, es decir, da una idea de cuánto puede atenuarse la energía de la onda que se propague por él. (NERI, 1999) y (FLORES, 2013)

Dieléctrico	ϵ_r
Aire	1,005
Alcohol etílico	25
Oxido de aluminio	8,8
Baquelita	4,75
Dióxido de carbono	1,001
Vidrio	4,0-7
Hielo	4,2
Mica	5,4
Nylon	3,5
Papel	3
Plexiglas	3,45
Polietileno	2,26
Polipropileno	2,25
Poliestireno	2,56
Porcelana	6

Vidrio Pyrex	4
Cuarzo	3,8
Hule	2,5-3
Nieve	3,3
Tierra seca	2,8
Teflón	2,1
Madera seca	1,5-4

Figura 15-2: Valores de permitividad relativa

Fuente: Neri, Alonso, pág. 50

2.6.3 Características eléctricas del suelo

Las características eléctricas del suelo al igual que cualquier otro medio se detallaron anteriormente y son: la permeabilidad, la permitividad y la conductividad. Debido al objetivo principal de este trabajo de investigación se detalla los factores que afectan las características eléctricas del suelo como son: la naturaleza del suelo, el grado de humedad y la temperatura.

Naturaleza del suelo.- se ha determinado que el valor de las características eléctricas más que por la composición química del suelo, varían por sus propiedades de absorción y retención de humedad.

Grado de humedad.-este es el parámetro que más influye en el valor de sus constantes eléctricas, se ha demostrado que aumentando el grado de humedad a partir de un pequeño valor, los valores aumentan rápidamente.

Temperatura.-se ha demostrado que este factor afecta a la conductividad en un 3% mientras que la variación de la permitividad es despreciable.(CUÑEZ, 2015)

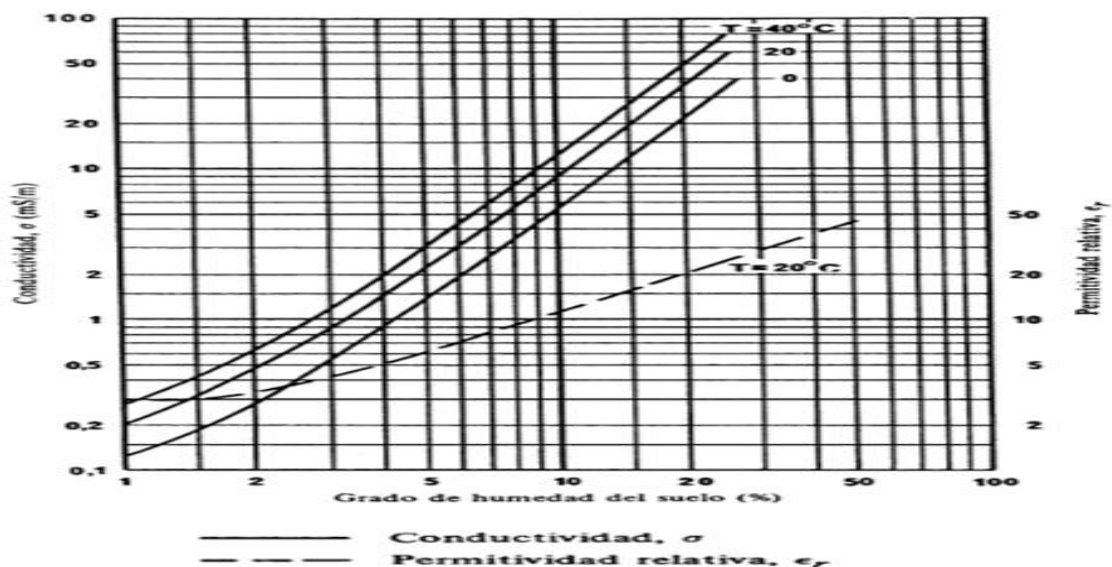


Figura 16-2: Conductividad intrínseca y permitividad relativa, en función del grado de humedad y temperatura

Fuente: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-P.229-6-1990-PDF-S.pdf

En la figura 16-2 se indica como la permitividad relativa con un grado de humedad 1 tiene un valor aproximado de 3 y a medida que aumenta el grado de humedad del suelo aumenta el valor de la permitividad relativa.

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se determinó la metodología utilizada, así como definir los procesos más importantes que se analizaron y desarrollaron para cumplir con los objetivos del proyecto.

3.1 Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo es una investigación experimental, se basa en el estudio de las condiciones particulares de materiales de zonas de desprendimientos. Se trata de una investigación en donde se varía intencionalmente las variables independientes.

3.2 Métodos de investigación

“Estudio de los métodos, su desarrollo, explicación y justificación. Su finalidad es comprender el proceso de investigación y no los resultados de la misma, las cuales responden de distinta manera a cada una de las preguntas y cuestionamientos que se plantea la propia metodología”, (Maya, 2014) por lo que en la investigación se aplicarán los siguientes métodos:

Método Deductivo, “Es una forma de razonamiento que parte de una verdad universal para obtener conclusiones particulares. En la investigación científica, este método tiene una doble función” (Maya, 2014). Ayudó en la comprensión de conceptos, definiciones, leyes y normas generales que involucran el conocimiento de la tecnología SDRadar, fenómeno de reflexión y permitividad relativa.

Método Inductivo, permitió que mediante el estudio de casos, hechos o fenómenos relativos a la medición para zonas de desprendimientos sea posible sugerir niveles de posibles riesgos de desprendimientos, que sirvan como una base para obtener los objetivos.

Análisis, “Que distingue las partes de un todo y procede a la revisión ordenada de cada uno de los elementos por separado”(Maya, 2014). Proceso mental que permitió descomponer en partes los resultados, ideas para mostrarlas, describirlas y así poder explicar las causas de los resultados y fenómenos a estudiar, relativos al comportamiento de las zonas de desprendimiento y de la tecnología SDRadar.

Síntesis, Se reconstruyó ciertos elementos circundantes al problema de investigación para facilitar la comprensión y enfocar los análisis para establecer las conclusiones de la investigación, en este estudio determinar los niveles de riesgos de zonas de desprendimiento.

3.3 Enfoque de la investigación

Enfoque cuantitativo: se usará en la recolección de datos para probar las hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. Dados que los datos son producto de mediciones de transmisión de señales, se representa mediante números y se deben analizar a través de datos estadísticos.

Enfoque cualitativo: se usó en la recolección de los datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas en el proceso de interpretación de los datos. Aquí se desarrolló preguntas e hipótesis antes, durante y después de la recolección y el análisis de los datos.

3.4 Alcance de la investigación

Por tratarse del estudio de un sistema de medición para zonas de desprendimientos en un ambiente de laboratorio y se tuvo un alcance Descriptivo.

3.5 Población de estudio

No se ha considerado una población de estudio ya que la investigación se basó en mediciones que se tomaron, por el sistema de medición con tecnología SDRadar. Las mediciones se realizaron en un ambiente de laboratorio.

3.6 Unidad de análisis

- Mediciones de señales del sistema SDRadar.
- Ambiente laboratorio.

3.7 Procesos para el desarrollo del trabajo de investigación

Aquí se detalla los procesos más importantes para el desarrollo del trabajo de investigación según la figura 1-3.

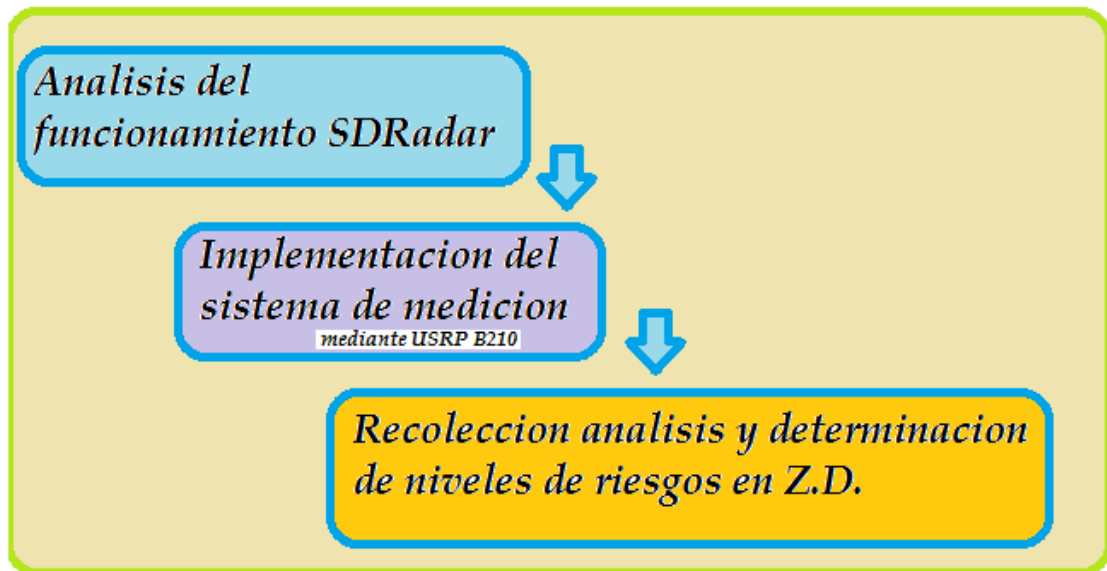


Figura 1-3: Diagrama de procesos para el desarrollo del trabajo de investigación

Realizado por: Nancy P. Veloz.2017

Primero se estudió el funcionamiento y parámetros básicos del Radar, luego su generación de onda y se definió el tipo de radar a utilizarse según los objetivos planteados gracias al libro de sistemas radar de Gregory L Charvat, después se entendió comportamiento de la ondas electromagnéticas y como estas afectan a los medios por donde atraviesan, donde se investigó a fondo sobre la permitividad y el fenómeno de reflexión de ondas, encontrándolo en el libro de líneas de transmisión de Neri, así mismo se investigó sobre los parámetros que activan las zonas de desprendimiento, En el primer proceso de análisis de funcionamiento de SDRadar se realizó varios ejemplo de prototipos con la tarjeta USRP y el GNU Radio para familiarizarse con su comunicación, luego se realizó la implementación más óptima del sistema de medición basándose en estudios previos de la tarjeta USRP B210, encontrando el sistema de medición con SDRadar más estable en la utilización de dos tarjetas USRP, los resultados obtenidos de las mediciones en diferentes terrenos y condiciones de humedad, se procesaron encontrando valores para el índice de reflexión y permitividad relativa, los mismos que se registraron en una base de datos para ser analizados y comparados con valores de permitividad relativa en simulaciones de riesgo de desprendimiento y desprendimiento en ambiente laboratorio y determinar de esta forma los valores límites de permitividad relativa en donde existe posibles riesgos de desprendimientos para cada material utilizado.

Método utilizado para el desarrollo del trabajo de investigación



Figura 2-3: Diagrama de la metodología

Realizado por: Nancy P. Veloz.2017

3.7.1 Selección de muestras

Se define los materiales a utilizarse que son tres, la tierra, la arena y el macadán debido a que son componentes clásicos de los diferentes tipos de suelos que existen, los mismos que están detallados en la siguiente tabla.

Tabla 1-3: Materiales para medición de su permitividad

MATERIALES	
MATERIAL 1	TIERRA
MATERIAL 2	ARENA
MATERIAL 3	MACADÁN

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

3.7.2 Preparación de la muestra

De cada material se selecciona la muestra, para lo cual se mide un metro cuadrado para tener un patrón de medida, en donde se realiza la medición y se determina las condiciones que se variarían para analizar sus valores de permitividad, Como se detalla en el capítulo 2, de los factores que más afectan las características eléctricas del suelo es el grado de humedad , debido

a que el agua reduce la resistencia al esfuerzo constante del material del que está formada, mediante la generación de presión del agua en el material, puede accionarse un desprendimiento, porque genera inestabilidad por corrientes extremas por el pie de las laderas o porque aumenta el peso volumétrico de los materiales que las conforman por esta razón se determina los grados de humedad que se utilizó y se definió ocho grados de humedad detallados en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Grados de humedad aplicados a los tres materiales

HUMEDAD		V(l)
1	CERO	0
2	LEVE 1	1/2
3	LEVE 2	1
4	LEVE 3	2
5	MODE 1	3
6	MODE 2	7
7	MODE 3	11
8	FUERTE	13

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

V equivale a la precipitación en milímetros de agua, o litros caídos por unidad de superficie (m^2), por ejemplo para un grado de humedad moderada 1 se colocó 3 litros de agua en un metro cuadrado.

3.7.3 Preparación del sistema de medición

En esta sección se detalla un análisis del funcionamiento de la tecnología planteada para el proyecto, en la escuela superior politécnica de Chimborazo, en los laboratorios de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones se dispone de tarjetas USRP modelo B210, razón por la cual se ha escogido este modelo de USRP para implementar el sistema y minimizar los costos del proyecto.

Para desarrollar el sistema SDRadar es necesario considerar algunos aspectos como: características de los computadores, características principales de la tarjeta USRP B210, características de las antenas, potencia y diseño del transmisor y receptor en GNU Radio con el fin de determinar el mejor prototipo que nos brindara un sistema estable y eficiente de medición.

3.7.3.1 Características de los computadores

Según investigaciones realizadas anteriormente las mejores características de los computadores para el sistema de SDRadar son de computadores de séptima generación con velocidades de procesamiento altísimas y como se detallan en la tabla 3-3, además de utilizar Linux Ubuntu porque es un software de código abierto y fácil de manejar.

Tabla 3-3: Características de los computadores

Características	Descripción
Sistema operativo	Linux/Ubuntu
Procesador	Core i7
Conectividad	USB 3.0
Configuración	MATLAB, GNU Radio

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

3.7.3.2 Características de las antenas de transmisión y recepción

En este apartado se detalla las características de las antenas utilizadas por nuestro sistema de medición, cabe mencionar que se realizó varias pruebas con otras antenas de frecuencias ideales para sistemas de radar pero ninguna funciono en nuestro sistema razón por la cual se decidió utilizar antenas diseñadas y probadas exclusivamente para sistemas radar(LLALAU, 2017).

En la figura 3-3 se aprecia el diseño de la antena transmisora y receptora utilizada para nuestro sistema de medición.

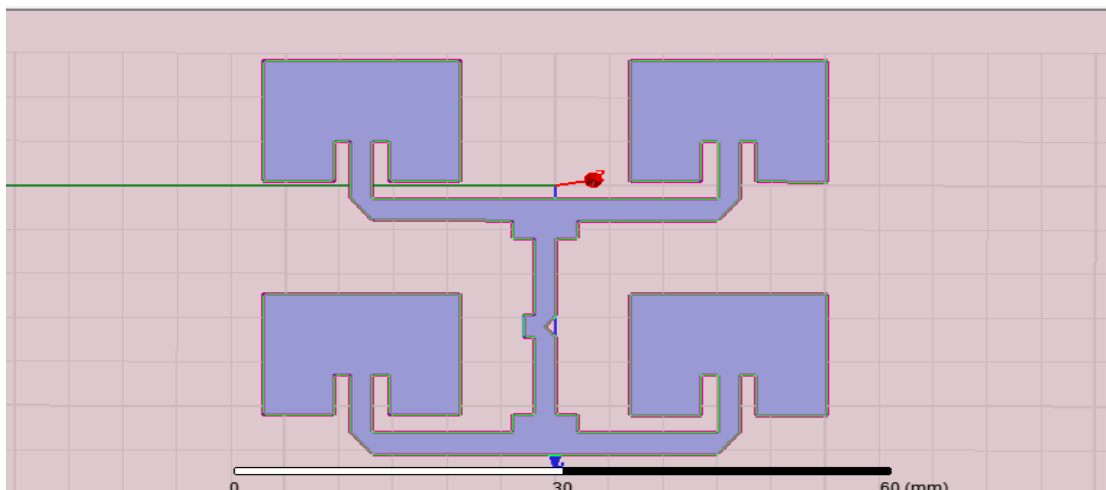


Figura 3-3 Diseño de la antena transmisora y receptora microstrip

Fuente: LLALAU, Diego. 2017

Como se observa en la figura 3-3 es un arreglo de antenas el que se utiliza para incrementar la ganancia que se requiere en este tipo de sistemas, las dimensiones de la antena son de (10cm x 8cm) fáciles de transportar con conexión coaxial.

En la figura 4-3 se muestra el lóbulo de radiación de las antenas microstrip utilizada en el prototipo radar para medición de niveles de riesgo en zonas de desprendimiento.

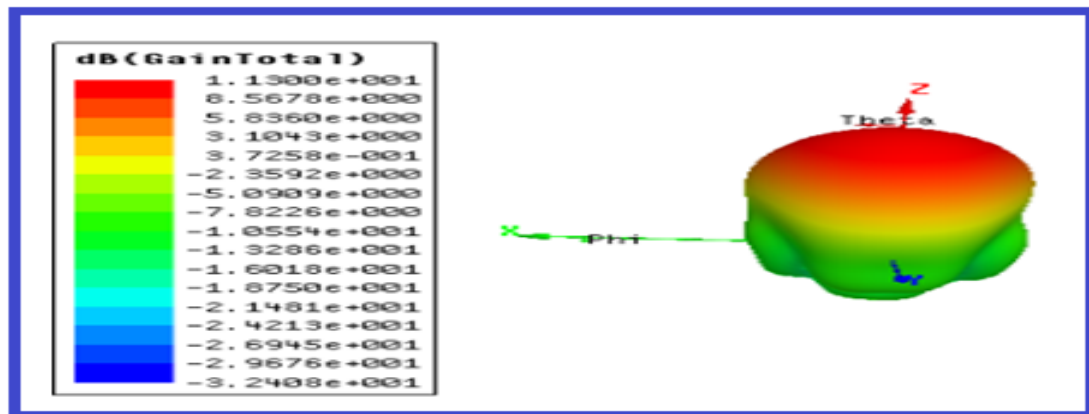


Figura 4-3 Esquema del lóbulo de radiación de la antena microstrip

Fuente: LLALAU, Diego. 2017

Como se puede observar en la figura el lóbulo tiene una directividad muy buena pero es importante separar las antenas una de otra por su radiación.

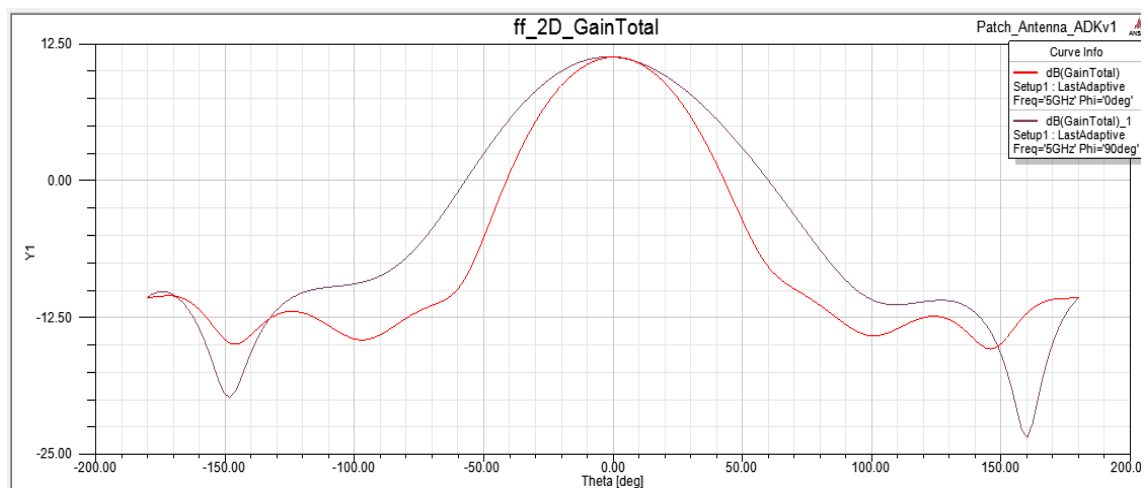


Figura 5-3 Ganancia de la antena

Fuente: LLALAU, Diego. 2017

La ganancia de antena se puede apreciar en la figura 5-3 que teóricamente llega a un valor de 10db que es muy buena para la aplicación en la que se desea utilizar.(LLALAU, 2017)

3.7.3.3 Características de potencia del sistema

El sistema de medición debe poder realizar mediciones en ambientes externos, debido a que los materiales que se desea medir son pesados y difíciles de trasladar, para determinar en qué valor se dejaría la ganancia de transmisión en el UHD, se realizó varias pruebas de transmisión determinando 50dBm, es el valor as ideal , se adquirió dos amplificadoresZJL6G+diseñados para trabajar con tarjetas USRP con frecuencia de funcionamiento de 20Mhz a 6Ghz, se escogió este amplificador por la frecuencia de trabajo de la antena que es de 5Ghz,posee una ganancia de 10dBm se los configuro en cascada dándonos 20dBm de ganancia total se buscó la mejor opción la alimentación en una fuente de poder de 12 V que es el voltaje con el que trabajan estos dispositivos.

En el UHD del receptor se estableció -55dBm con esto se verifica que las señales recibidas no se confundan con el ruido.

3.7.3.4 Diagrama del transmisor (GNU radio)

En la figura 7-3 se muestra el diagrama de bloques del transmisor desarrollado en GNU Radio, el mismo que está compuesto de 3 bloques: el primero para el llamado de la señal de transmisiónque fue generada en Matlab con un ancho de banda de 25Mhz, el segundo bloque de conversión de la señal de flotante a compleja y por último el bloque de llamado a la tarjeta para su transmisión por RF.

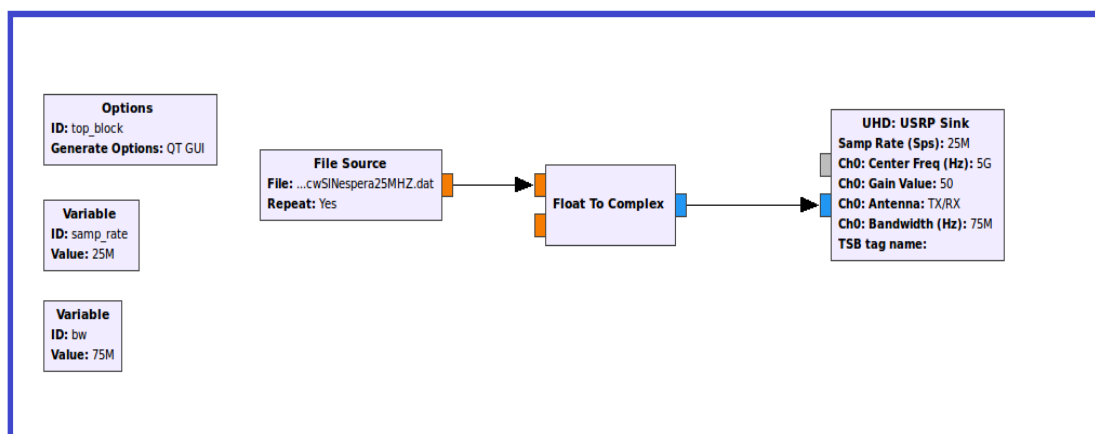


Figura 6-3: Diagrama de bloques del transmisor

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

3.7.3.5 Diagrama del Receptor (GNU radio)

En la figura 8-3 se muestra el diagrama de bloques del receptor desarrollado en GNU Radio, el mismo que está compuesto de 3 bloques: el primero que es el bloque de llamado a la tarjeta para la recepción por RF de la señal eco, el segundo bloque convierte la señal de compleja a flotante y el tercer bloque es para el almacenamiento de la señal recibida, a su vez se puede utilizar un bloque auxiliar de visualización para el análisis de la señal que se está recibiendo.

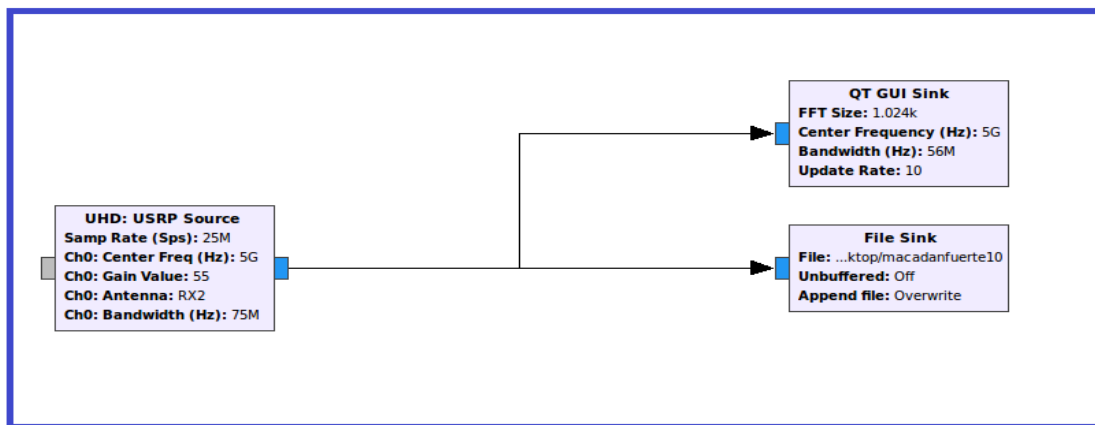


Figura 7-3: Diagrama de bloques del receptor

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

3.7.3.6 Diagrama del sistema de medición

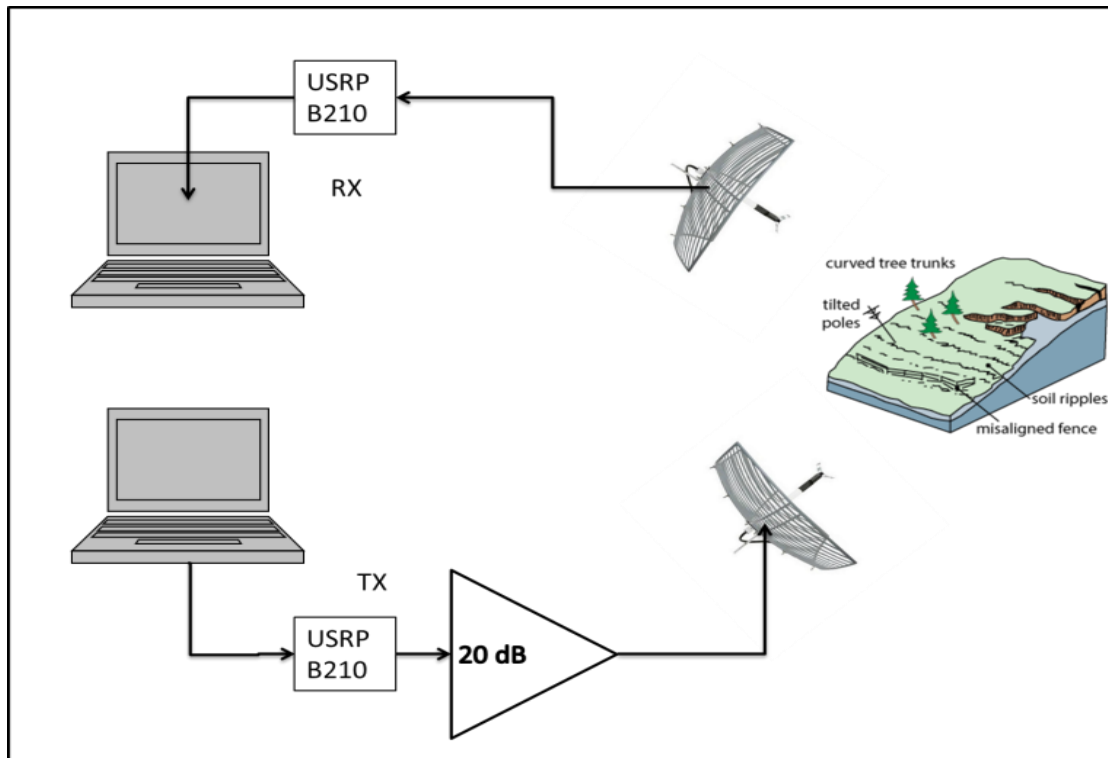


Figura 8-3: Diagrama del sistema de medición

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

En la figura 9-3 se puede observar la implementación del sistema de medición propuesto con dos tarjetas USRP B210 conectadas a su respectivo computador uno para la transmisión y otro para la recepción con el fin de mejorar la sincronización y capacidad de la tarjeta, previamente al haber analizado las conclusiones del trabajo de (LLALAU, 2017) y (MEJIA, 2017), en el transmisor se colocó los dos amplificadores en cascada y la antena transmisora y en el receptor la tarjeta y la antena.

Esta arquitectura del sistema de medición se propuso para reducir la carga computacional que requiere implementar un sistema SDRadar.

El sistema de medición propuesto se ubicó a 40cm para evitar los efectos de superposición con las primeras señales, además se realizó pruebas al espacio libre para verificar la distancia correcta entre las antenas con el fin de evitar interferencias entre los lóbulos de las mismas y se definió que la distancia correcta era de 7,5 cm, además se las colocó en un material aislante fijo para la estabilidad del sistema.

Costos del sistema de Medición

En la siguiente tabla se detalla los costos de los equipos utilizados en el sistema de medición de niveles de riesgo para zonas de desprendimiento SDRADAR

Tabla 4-3: Valores de costos utilizados en el sistema de medición.

EQUIPO	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tarjetas USRP B210	2	\$ 1425	\$2850.00
Computadores	2	\$ 1000	\$2000.00
Amplificador	2	\$ 100	\$ 200.00
Antenas	2	\$ 100	\$200.00
Fuente de poder	1	\$15	\$15.00
Cables coaxial	4	\$10	\$40.00
TOTAL			\$ 5305.00

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

El sistema de medición propuesto es para ambientes de laboratorio, si se desea implementar este sistema de medición para mediciones de campo en zonas de desprendimiento reales se debería considerar una distancia promedio de 500m desde la zona de desprendimiento hasta el sistema, para lo cual se debería adquirir amplificadores de alta potencia, antenas de mayor ganancia así como se podría utilizar otras tarjetas, como las de la National Instrument con tecnología SDRadar incrementando el costo del sistema.

3.7.4 Calibración

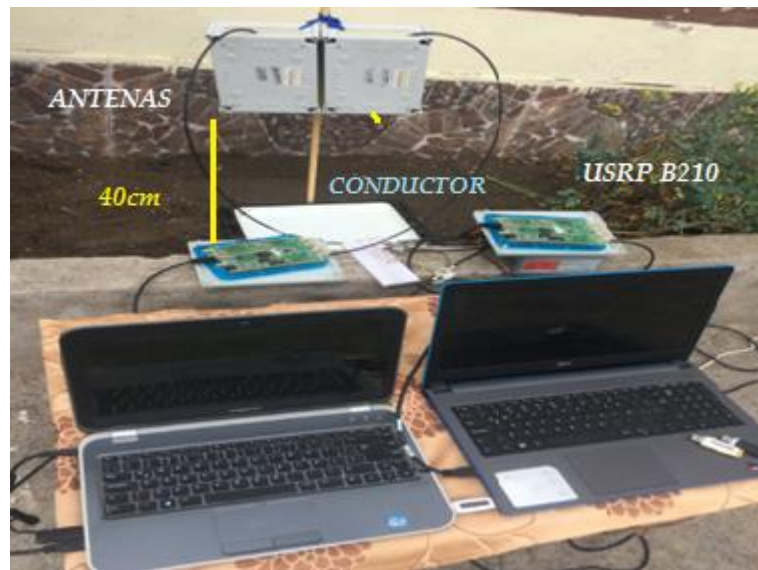


Figura 9-3: fotografía del sistema en el proceso de calibración

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

El sistema de medición se lo traslada hacia el lugar donde está la tierra, arena, macadán y antes de la medición, se debe obtener por cada material de medición una señal calibrada la misma que debe ser a un material conductor, con la superficie emisora de la antena paralela a la superficie reflectora, ya que este tipo de material permite reflejar la señal transmitida casi en un 100%, esta

señal se compara con las señales recibidas en las mediciones y es la base principal para definir el índice de reflexión.

En la gráfica 1-3 se muestra la señal recibida del sistema de medición a un material conductor. La amplitud máxima de esta señal es de 0.8 para este ejemplo.

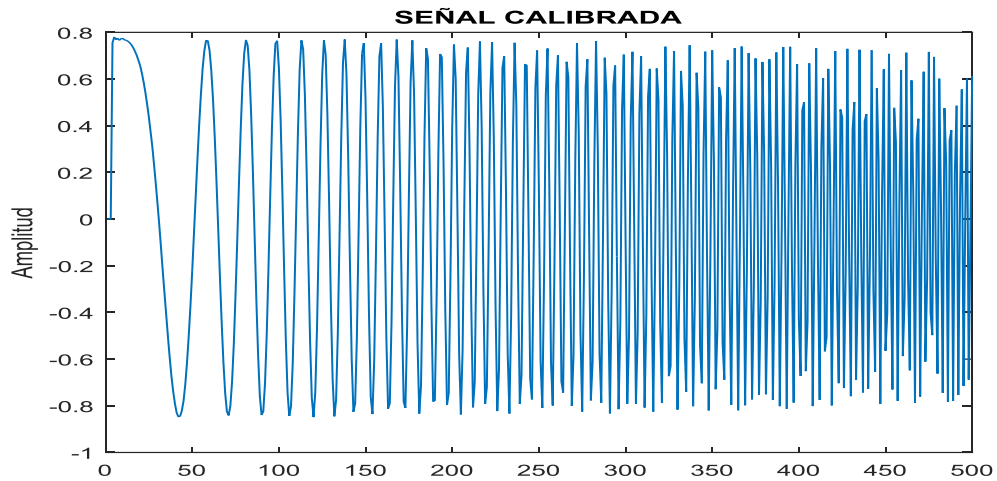


Gráfico 1-3: Señal de calibración.

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

3.7.5 Medición

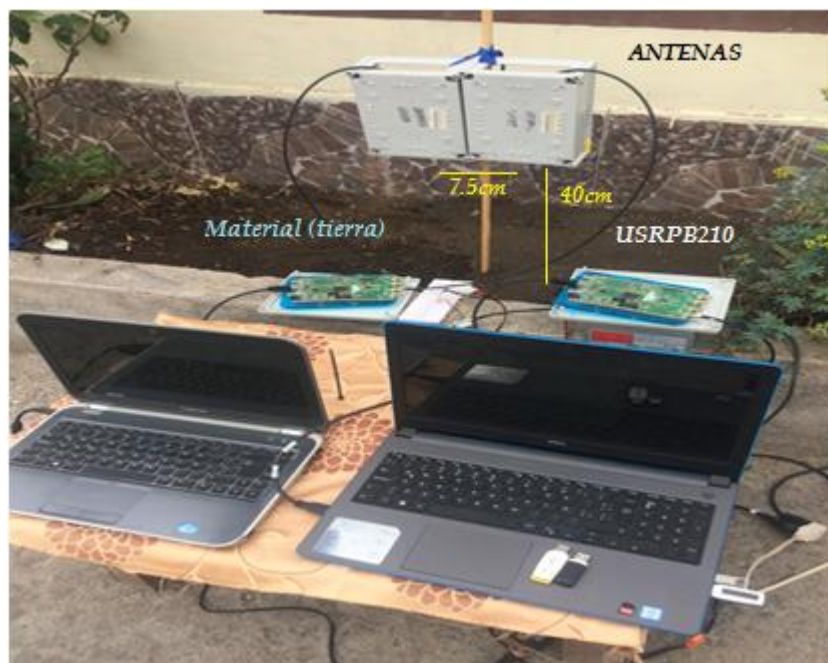


Figura 10-3: fotografía del sistema en el proceso de medición

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

En la figura 10-3 se observa cómo se toma las mediciones, primero se recepta mediciones preliminares para familiarizarse y adquirir experiencia con el sistema de medición y verificar su funcionamiento.

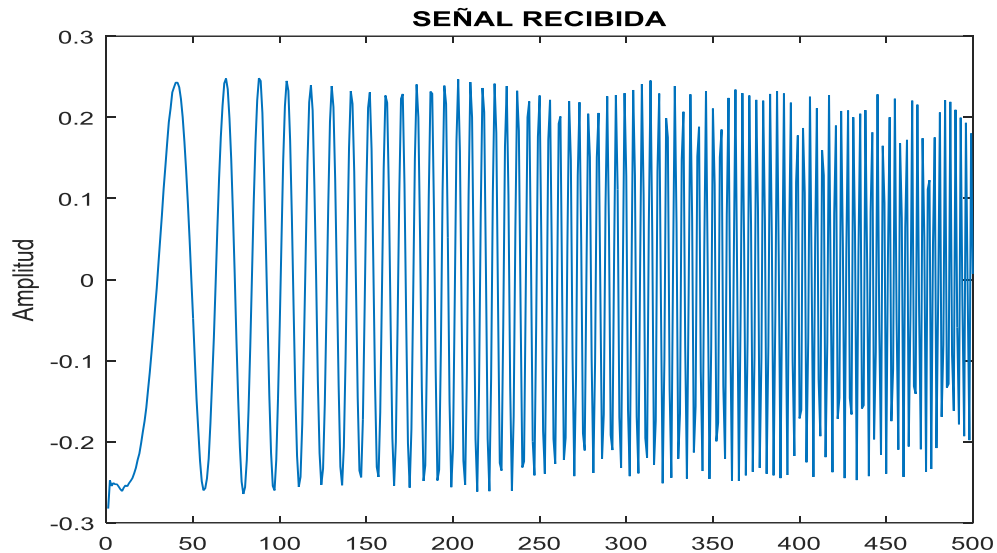


Gráfico 2-3: Señal de recibida.

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

En este apartado se define los parámetros de adquisición de datos como: el tiempo de cada medición de 6s para todas las mediciones y el número de mediciones en sus ocho grados de humedad determinados, primero calcularemos la desviación media con la siguiente ecuación.

$$\vartheta = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\bar{X} - X_i)^2}{N-1}} \quad \text{Ecuación 1-3}$$

Donde:

ϑ =Desviación media

\bar{X} = valor promedio

X_i = valor de la medición

N =número de mediciones iniciales

Y luego se calcula el error estándar mediante la ecuación 2-3:

$$e = \frac{\vartheta}{\sqrt{N}} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

e = Error estándar

ϑ =Desviación media

N=número de mediciones iniciales

Debido a que estos valores nos permiten determinar el número de mediciones experimentales con una población no definida es decir infinita, mediante la siguiente ecuación.

$$n = \frac{z^2 pq}{e^2} \quad \textbf{Ecuación 3-3}$$

Donde:

Z= índice de confianza que para un valor de 0.95% equivale a 1.96

P= probabilidad 0.5

q =No probabilidad 0.5

e = Error estándar

Reemplazando en la ecuación 3-3 tenemos:

$$n = \frac{(1.96)^2 (0.25)^2}{(0.039)^2}$$
$$n = 157,79$$

Por cada material debemos tomar 158 mediciones como son 8 grados de humedad entonces el número de mediciones por cada grado de humedad es $m = 19,72$ es decir 20.

Las señales recibidas son almacenadas en el disco duro de la computadora conectada a la tarjeta de la antena receptora, debido a que el tamaño de las señales recibidas son muy pesadas, se almacena de diez en diez las mediciones.

3.7.6 Exportación de datos

Primero definimos el software de simulación que nos ayudara en el diseño y procesamiento de datos, para luego exportarlos hacia este software.

3.7.6.1 Definición del software de simulación para el sistema de medición

La tarjeta USRP B210 con la que se realizó el sistema de medición puede trabajar con el siguiente software de simulación: GNU Radio, Matlab, Labview. A continuación se detalla las características más importantes de cada uno en la siguiente tabla.

Tabla 5-3: Características software de simulación

S. Simulación	Costo	Programación	Saturación
GNU Radio	cero	fácil	si
Matlab	bajo	fácil	no
Labview	alto	compleja	no

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

Se tomó en cuenta el costo de la licencia, la programación y la saturación de la tarjeta como parámetros más relevantes para la definición de que software se utilizaría en el diseño de nuestro sistema, GNU Radio al realizar las pruebas saturaba la tarjeta y el sistema se colgaba, Por lo cual se definiendo a Matlab como la mejor opción para el diseño del sistema de medición. Para el desarrollo de la programación, se parte del ancho de banda con el cual la tarjeta puede trabajar que es de $B=25$ MHz, el cual da como resultado una resolución de 6m.

Gracias al siguiente comando `phased.FMCWWaveforms` se define la frecuencia de muestreo y se desarrolla la señal que será transmitida.

Las mediciones receptadas se cambian la extensión a (.dat) para su posterior procesamiento.

3.7.7 Procesamiento de datos

Para procesar los datos se utilizó el computador, matlab y hojas de cálculo. En la figura 11-3 se muestra todo el procesamiento de datos para el cálculo del índice de reflexión.

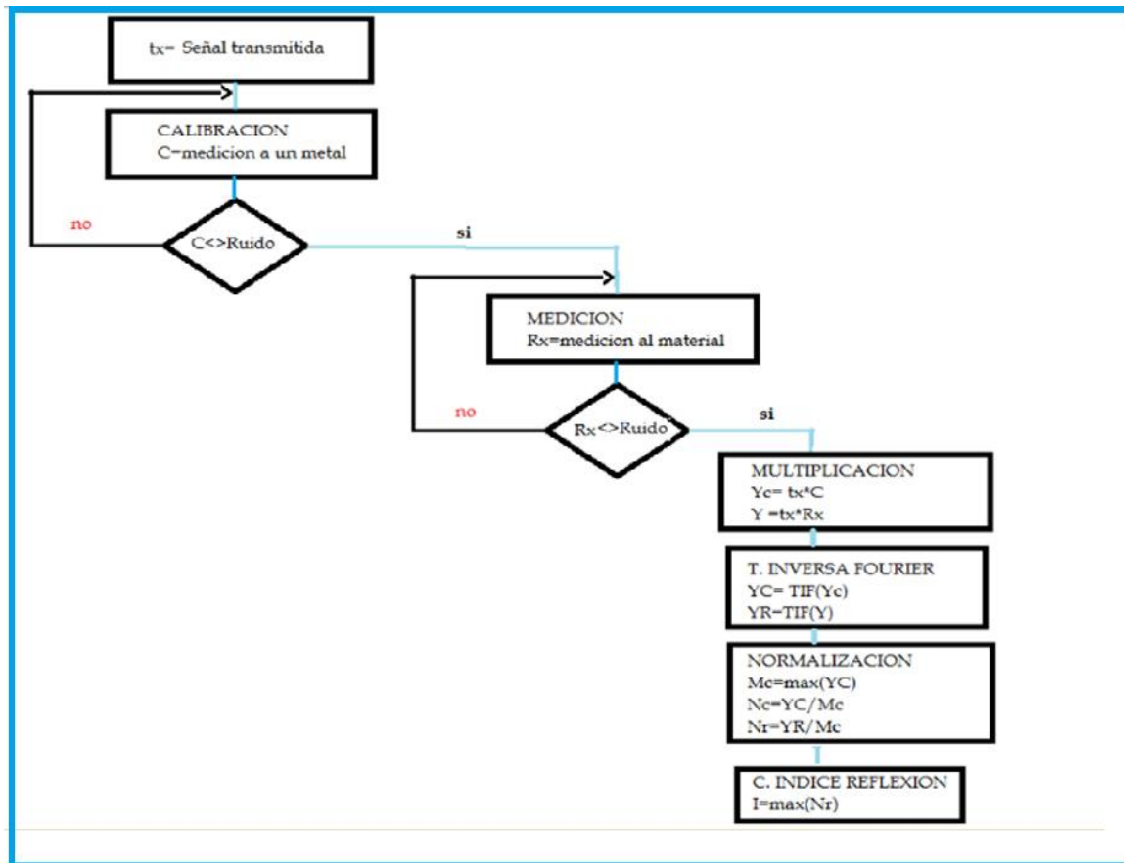


Figura 11-3: Diagrama de flujo del procesamiento de datos

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

Una vez que se dispone de la señal reflejada del metal y del material, Se debe realizar la multiplicación con la señal transmitida y para obtener un Radargrama en el dominio de la frecuencia espacial de las dos señal es reflejadas, se calcula la transformada inversa de Fourier, posterior a esto se debe normalizar el Radargrama con referencia al valor máximo de la señal de calibración y al realizar esta reducción de su amplitud podemos observar en la figura 12-3 el valor del índice reflexión dado por la amplitud en el Radargrama de la señal reflejada del material. Todo el procesamiento se realizó en un script desarrollado en Matlab.

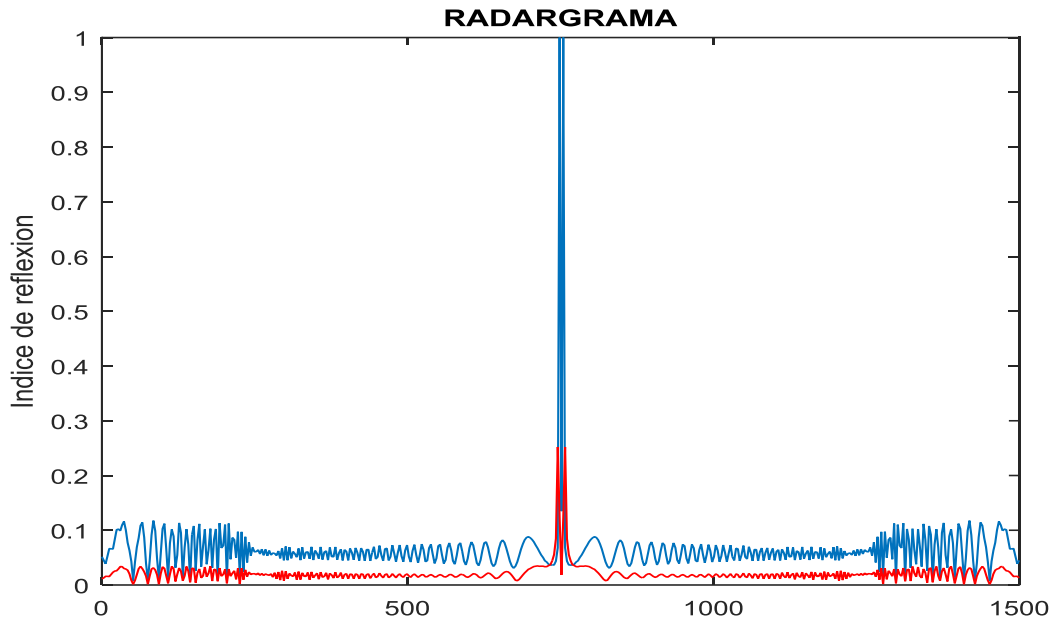


Figura 12-3: Grafica normalizada para obtener índice de reflexión.

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

En la figura 12-3 se muestran la amplitud de la reflexión en el metal o señal de calibración de color azul es mayor que la amplitud de la reflexión en el material (tierra, arena, macadán) de color rojo. En el primer caso se obtiene una amplitud de 1 en el Radargrama normalizado al valor máximo de la señal de calibración, mientras que en el segundo caso la amplitud de la reflexión en el material de color rojo es de 0.25 este es el valor del índice de reflexión y mediante la ecuación 14-2 del capítulo anterior, se obtiene el valor de la permitividad relativa.

3.7.8 *Muestra de resultados*

Para presentación de los resultados se usó Hojas de cálculo, gráficas y figuras. Estos valores de permitividad se almacenaron en una base de datos en Excel para su análisis. Cumpliendo con uno de los objetivos específicos. Cabe indicar que ya se han realizado estudios anteriores de cómo medir la permitividad de materiales con otras tecnologías (Hugo, 2017).

CAPÍTULO IV

4 INTERPRETACIÓN RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Obtención y análisis de resultados

A continuación se detalla los resultados de los valores de los índices de reflexión y los valores de permitividad de cada material en diferentes condiciones de humedad establecidas, la diferencia con los resultados puede ser debida, además de errores experimentales a diferencias en la composición y en las condiciones de temperatura.

Se analizó los valores promedio de permitividad relativa arrojados por el sistema de medición debido a que este valor estadísticamente hablando es el valor aceptado más o menos el valor de la desviación media, observando que el sistema es muy estable siempre y cuando no se varié las condiciones establecidas.

4.1.1 Análisis de la permitividad según grados de humedad y discusión de resultados

Se analiza las señales recibidas en MATLAB de la medición de los materiales (tierra, arena, macadán) por cada grado de humedad. Donde se obtiene un Radargrama normalizado con el Radargrama de calibración por cada señal analizada en donde se puede apreciar el índice de reflexión y se realiza el cálculo de la permitividad relativa como se detalló en el capítulo anterior

4.1.1.1 Evaluación del material 1 con los diferentes grados de humedad

En la fotografía se muestra el sistema de medición el momento en el que recepta la señal reflejada en la tierra



Figura 1-4: Mediciones en la tierra.

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

En el siguiente gráfico, podemos observar el valor del índice de reflexión de los escenarios de humedad principales: cero, leve, moderada, fuerte realizados con la tierra, no se grafica los ocho grados de humedad porque es más complicado su apreciación, cabe indicar que según investigaciones realizadas anteriormente el valor de permitividad relativa de la tierra seca es 2,8, lo cual se lo pudo corroborar en las muestras tomadas por el sistema de medición de ZD implementado.

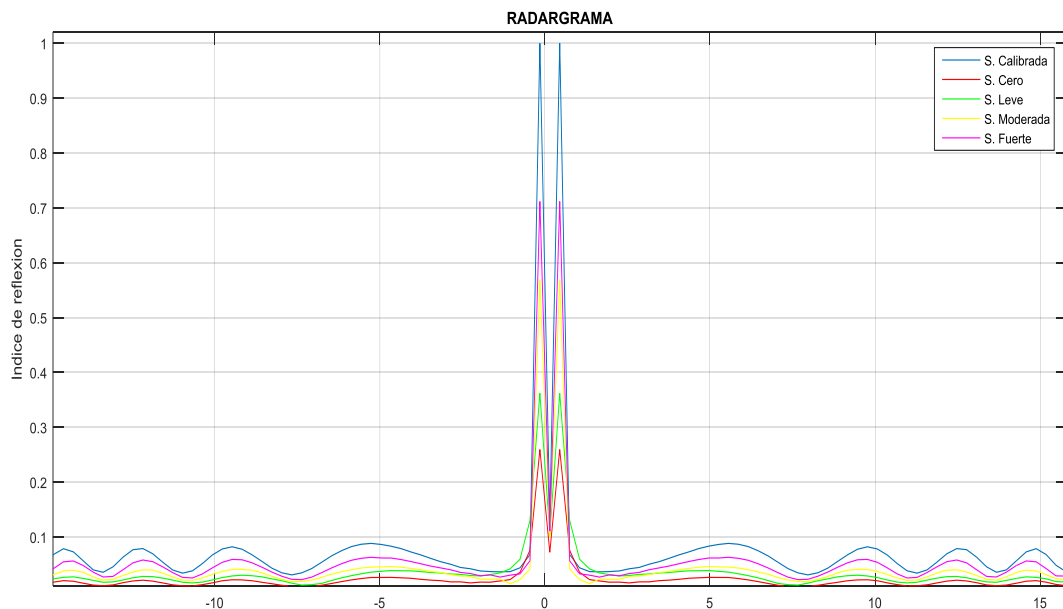


Gráfico 1-4: Radargrama para medición del índice de reflexión del material 1 con cuatro grados de humedad principales

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

En el Radargrama de la gráfica 1-4 la línea en azul significa la señal de calibración la misma que sirvió para la referencia de reducción y cálculo del índice de reflexión de las demás mediciones, con un valor de 1 lo que nos indica que hubo una reflexión perfecta todo lo que se transmitió se recibió. La línea de color rojo indica la señal recibida de la tierra con un grado de humedad cero, de su amplitud se obtiene el valor del índice reflexión de 0.25. La línea de color verde indica la señal recibida de la tierra con un grado de humedad leve, de su amplitud se obtiene el valor del índice reflexión de 0.34. La línea de color amarillo indica la señal recibida de la tierra con un grado de humedad moderada, de su amplitud se obtiene el valor del índice reflexión de 0.57. La línea de color rosado indica la señal recibida de la tierra con un grado de humedad fuerte, de su amplitud se obtiene el valor del índice reflexión de 0.71

Gracias a estos valores del índice de reflexión se calcularon sus respectivos valores de permitividad para los diferentes grados de humedad utilizados con el material 1 (tierra) detallados en la tabla 1-4.

Tabla 1-4: Valores de permitividad para el material 1 (tierra) vs grados de humedad.

MUESTRAS	CERO	LEVE1	LEVE2	LEVE3	MODE1	MODE2	MODE3	FUERTE
1	2,7	2,83	3,45	4,92	7,14	11,99	19,08	41,6
2	2,6	2,28	3,18	4,94	7,17	12,19	19,46	53,2
3	2,65	2,76	3,45	4,92	7,18	11,99	19,39	55,5
4	2,08	2,62	3,44	4,91	7,14	11,79	18,77	40
5	1,55	2,27	3,42	4,91	7,15	11,01	19,63	44,82
6	1,81	2,28	3,46	4,88	7,19	14,39	19,62	53,96
7	2,01	2,28	3,18	4,93	9,3	11,71	18,88	50
8	2,24	2,28	3,45	5,08	7,26	11,49	19,08	51
9	2,8	2,28	3,45	5,05	8,71	11,75	18,71	52,4
10	2,77	2,28	3,18	5,07	7,07	11,53	18,59	58
11	2,66	2,27	3,45	5,04	7,14	11,5	19,08	50,23
12	2,65	2,27	3,44	5,05	7,15	12,17	19,46	53,2
13	2,89	2,29	3,42	5,09	7,14	12,71	19,39	50,2
14	2,08	2,28	3,46	5,07	7,4	14,34	18,77	55,22
15	2,79	2,28	3,18	5,07	6,32	11,75	19,63	44,82
16	1,81	2,41	3,45	5,07	6,35	13,25	19,08	56,21
17	2,01	2,29	3,42	5,07	9,3	11,44	19,46	50
18	2,24	2,28	3,46	5,04	9,35	11,67	19,39	57
19	2,8	2,28	3,18	5,04	6,33	12,31	18,77	52,4
20	2,65	3,27	3,45	5,05	9,14	11,78	19,63	52
PROMEDIO	2,3895	2,404	3,3785	5,01	7,5465	12,138	19,1935	51,088

Realizado por: Nancy P. Veloz, 201

4.1.1.2 Evaluación del material 2 con los diferentes grados de humedad

En la fotografía se muestra el sistema de medición el momento en el que recepta la señal reflejada en la arena.



Figura 2-4: Mediciones en la arena.

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

En el siguiente gráfico, podemos observar el valor del índice de reflexión de cada uno de los escenarios de humedad realizados con la arena.

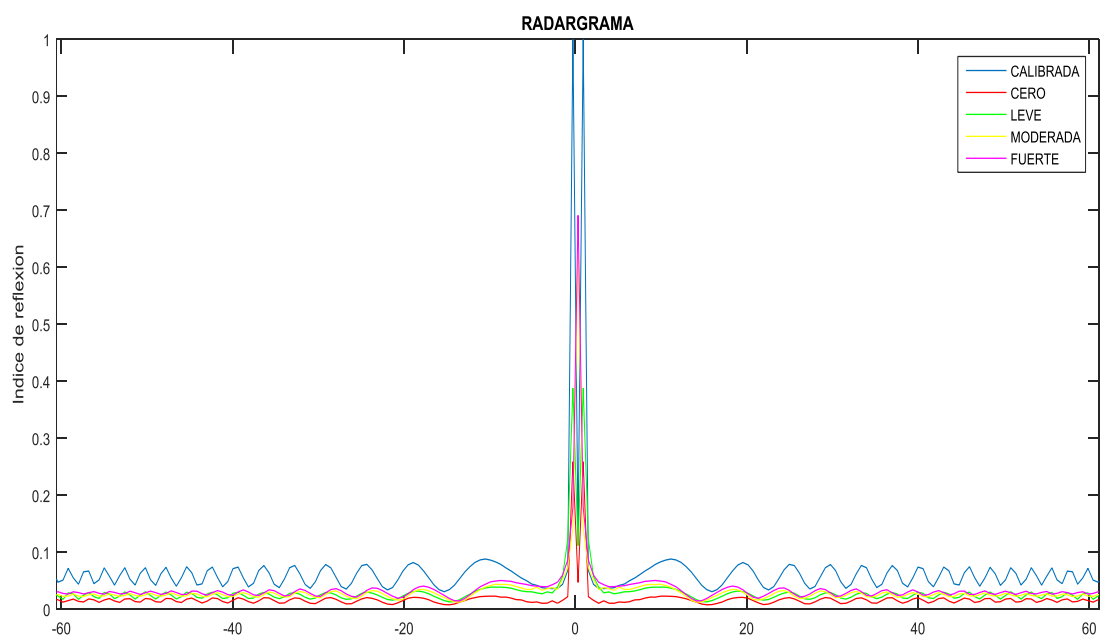


Gráfico 2-4: Radargrama para medición del índice de reflexión del material 2 con grados de humedad principales.

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

En el gráfico 2-4 observamos el Radargrama de la señal recibida tanto en humedad cero, leve, moderada, fuerte y calibrada y sus respectivos valores del índice de reflexión de cada uno, para la arena. Gracias a estos valores del índice de reflexión se calcularon sus respectivos valores de permitividad para los diferentes grados de humedad utilizados con el material 2 (arena) se obtuvo valores de permitividad relativa registrados en la tabla 2-4.

Tabla 2-4: Valores de permitividad para el material 2 (arena) vs grados humedad.

MUESTRAS	CERO	LEVE1	LEVE2	LEVE3	MODE1	MODE2	MODE3	FUERTE
1	2,69	2,33	3,014	3,86	6,63	10,835	15,61	46,56
2	3,11	2,34	3,013	5,12	8,36	11,75	16,36	46
3	1,05	2,33	3,01	3,87	7	11,79	15,76	46,25
4	2,88	2,34	3	3,82	6,16	11,83	16,91	40,76
5	1,3	2,36	3,04	5,96	7,1	11,79	16,76	40,04
6	2,13	2,36	3,014	5,8	5,71	11,32	15,62	40
7	2,58	2,35	3,013	4,77	6,62	11,84	15,77	45,22
8	2,17	2,36	3,01	5,24	6,91	11,835	16,91	41,28
9	2,59	2,36	3,014	3,85	6,67	11,75	16,67	41,4
10	2,53	2,36	3,013	3,76	6,32	11,79	18,32	40,62
11	1,21	2,36	3,01	4,36	6	11,83	16,86	44
12	1,04	2,53	3,01	5,15	7,42	11,79	16,42	41
13	2,53	2,51	3,01	5,29	7,64	10,835	15,64	41
14	2,53	2,52	3,01	5,21	6,91	11,75	15,7	40,01
15	2,51	2,53	3,014	3,63	6,54	11,79	16,54	41,27
16	2,51	2,34	3,013	5,71	7,05	11,83	15,61	41,34
17	1,03	2,36	3,01	5,65	7	11,79	15,76	41
18	3,11	2,3	3,01	5,43	7,05	10,32	16,9	45,3
19	3,09	2,36	3,01	3,08	6,91	11,84	15,54	43
20	2,88	2,57	3,01	5,47	6,23	11,12	16,89	43
PROMEDIO	2,2735	2,3935	3,0124	4,7515	6,8115	11,57125	16,3275	42,4525

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

4.1.1.3 Evaluación del material 3 con los diferentes grados de humedad

En la fotografía se muestra el sistema de medición el momento en el que recepta la señal reflejada en el macadán.



Figura 3-4: Mediciones en el macadán.

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

En el grafico 3-4 observamos el Radargrama de la señal recibida para los cuatro niveles principales de humedad cero, leve, moderada, fuerte y la calibrada, en el eje y podemos visualizar el valor del índice de reflexión de cada grado de humedad insertado en el macadán.

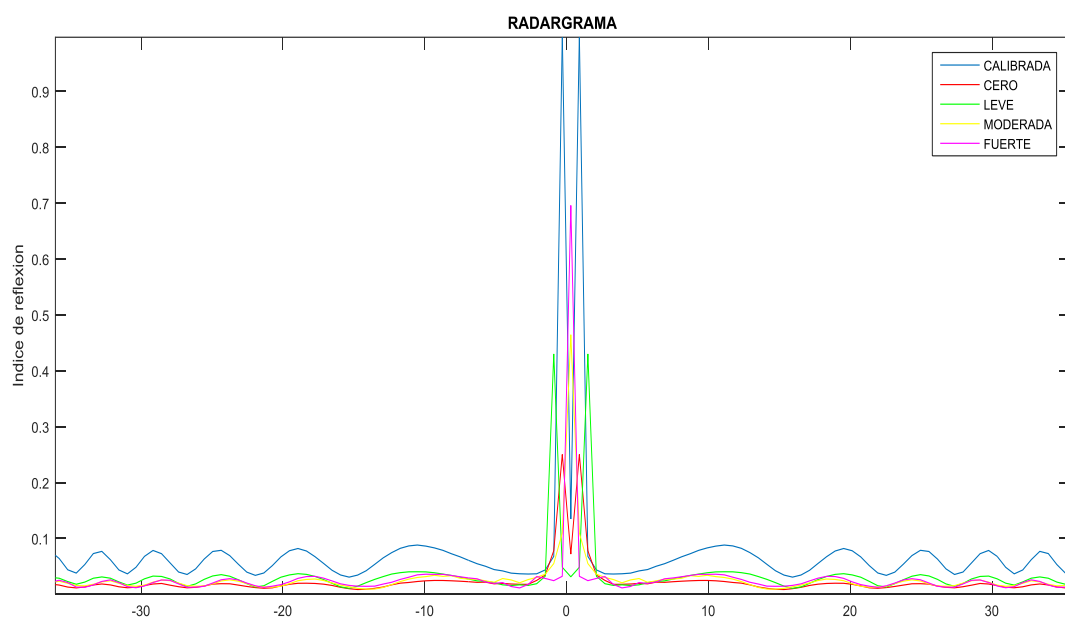


Gráfico 3-4: Radargrama para detección del índice de reflexión del material 3 con varios escenarios de humedad

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

Gracias a estos valores del índice de reflexión se calcularon sus respectivos valores de permitividad para los diferentes grados de humedad utilizados con el material 3 (macadán) se obtuvo valores de permitividad relativa registrados en la tabla 3-4.

Tabla 3-4: Valores de permitividad del material 3 (macadán)vs grados de humedad.

MUESTRAS	CERO	LEVE1	LEVE2	LEVE3	MODE1	MODE2	MODE3	FUERTE
1	2,54	2,62	2,9	3,98	6,6	10,23	19,02	21,21
2	1,4	2,61	2,98	4,05	6,6	10,34	19,02	21,24
3	1,05	2,61	3,12	4,1	6,4	11,67	19	31,32
4	2,03	2,61	2,98	4,07	7,52	11,67	19,23	31,11
5	1,5	2,63	3,15	4,15	7,48	10,24	19	31
6	1,81	2,73	3,98	3,98	6,6	10,32	19,24	30
7	2,79	2,74	3,45	4,05	6,6	11,84	19,22	30
8	2,94	2,73	3,18	4,1	7,4	10,32	18,67	21,63
9	2	2,71	3,11	4,07	7,64	10,24	18,64	31,12
10	2,07	2,74	3,46	4,15	6,4	11,79	18,4	21,5
11	2	2,62	3,18	4,98	6,6	11,83	19,02	22,21
12	2,4	2,61	3,17	4,05	7,7	11,09	19,02	21,24
13	2,05	2,61	2,95	4,1	6,4	10,24	19	22,21
14	1,38	2,61	3,18	5,07	7,52	11,75	19,23	21,54
15	2,5	2,63	3,17	4,15	7,5	11,79	19	22
16	1,81	2,73	3,2	5,03	6,6	10,24	18,24	30,8
17	2	2,74	3,34	5,09	7,6	11,09	19,22	22,63
18	1,7	2,73	3,32	4,98	6,4	10,24	18,78	21,63
19	2	2,71	2,96	4,97	6,6	11,14	18,6	21,3
20	2,07	2,74	3,31	4,95	6,5	11,12	18,5	21,5
PROMEDIO	2,002	2,673	3,2045	4,4035	6,933	10,9595	18,9025	24,8595

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

4.1.1.4 Evaluación de los tres materiales con los diferentes grados de humedad

Los tres materiales tuvieron una variación pequeña referente a cada grado de humedad por ejemplo en una humedad cero se obtuvo 2,39(tierra), 2,27(arena), 2,002(macadán), podemos observar en base a los resultados de la medición que mientras la tierra tiene un valor de permitividad mayor que la arena y el macadán, el macadán por el contrario es el material con menores valores de permitividad relativa, siendo la permitividad la capacidad de polarización en un medio ante un campo eléctrico, es decir el mejor material del que puede estar constituido una zona de desprendimiento debe ser el que menor valor de permitividad posea en nuestro estudio el macadán, debido a que sus valores de permitividad son pequeños respecto de los otros materiales en un porcentaje de 16%

La tabla 4-4 nos muestra de forma resumida los valores promedio de permitividad relativa obtenidos con nuestro sistema de los materiales escogidos, en los ocho grados de humedad planteados para su análisis y comparación.

Tabla 4-4: Valores de permitividad relativa promedio para 3 materiales vs grados de humedad.

MATERIAL	CERO	LEVE1	LEVE2	LEVE3	MODE1	MODE2	MODE3	FUERTE
TIERRA	2,39±0,41	2,4±0,27	3,38±0,12	5±0,07	7,55±0,4	12,1±0,9	19,19±0,4	51,9±4,9
ARENA	2,27±0,73	2,39±0,08	3,01±0,01	4,75±0,99	6,81±0,6	11,6±0,4	16,33±0,7	42,45±2,3
MACADÁN	2,00 ±0,5	2,67±0,06	3,2±0,21	4,4±0,46	6,93±0,5	10,96±0,7	18,95±0,3	24,86±4,5

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

Para calcular los valores aceptados, se debe determinar la ϑ =desviación media de las 20 mediciones

$$\bar{X} \pm \vartheta$$

Ecuación 1-4

Como resume del análisis del comportamiento de los materiales frente a la humedad se adjunta el gráfico 4-4 en que se observa el comportamiento de la permitividad de los tres materiales con los diferentes grados de humedad

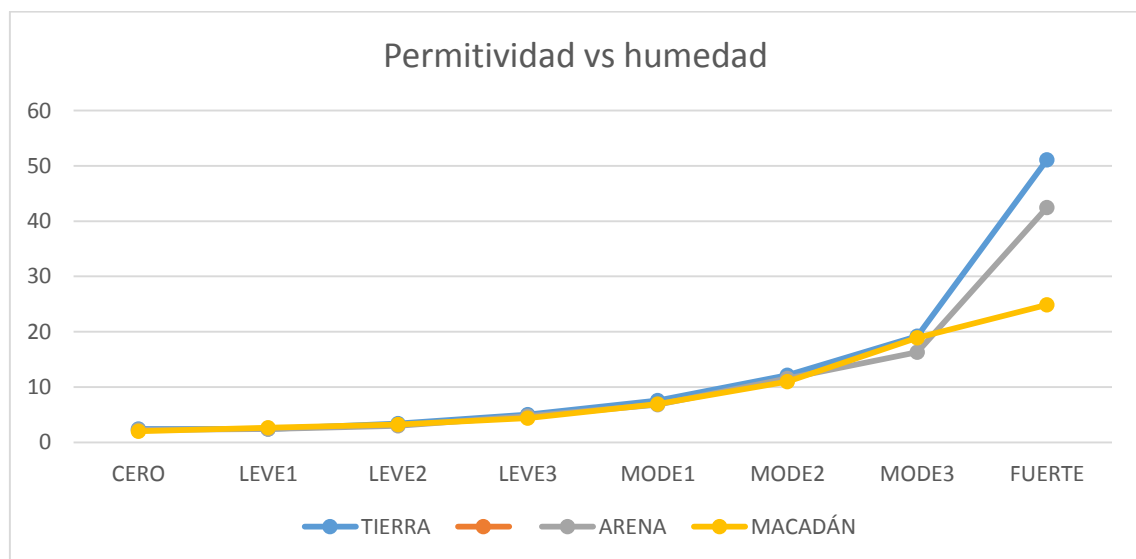


Gráfico 4-4: Comportamiento de la permitividad de los tres materiales con los diferentes grados de humedad.

Realizado por: Nancy P. Veloz, 2017

El comportamiento de la permitividad de los tres materiales es muy similar, crece con el grado de humedad.

Sin embargo la tierra y la arena se diferencia en porcentaje pequeño en sus valores mientras que el macadán como se aprecia gráficamente tiene un porcentaje más alto de diferencia de los otros dos.

El macadán es el material que menor valor de permitividad tiene en sus diferentes grados de humedad se podría concluir que es el mejor material del que puede estar compuesto las zonas de desprendimientos.

La tierra tiene un alto grado de permitividad relativa es decir es el peor material del que podría estar compuesta una zona de desprendimiento, debido a sus características de absorción de humedad.

4.2 Análisis para determinar niveles de riesgos

4.2.1 *Evaluación de la permitividad en escenarios de riesgo de desprendimientos y discusión de resultados*

Los resultados experimentales obtenidos de la medición de los tres materiales con diferentes grados de humedad se resumen en la tabla 4-4 los mismos que nos servirán como una base de datos de referencia del comportamiento de la permitividad vs la humedad de cada material, para determinar los valores límites donde puede existir riesgo en zonas de desprendimiento, para esto se realiza dos escenarios extremos de medición de la permitividad relativa de cada material, uno en estado súper seco y el otro en estado súper húmedo, ya que como se ha investigado el suelo está compuesto de 25% de agua para su composición ideal y no deformación, si la humedad del suelo baja de ese porcentaje o sube exageradamente del mismo se produce un desprendimiento, por ello para ubicar los valores en donde ya existen grados de riesgo de desprendimientos para cada material. Se coloca el material en forma de las laderas existentes como se muestra en la figura 4-4



Figura 4-4: Estado inicial súper seco tierra, Arena, macadán

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

Se provoca desprendimientos en su estado súper seco, el estado inicial de los materiales se pueden visualizar en la figura 4-4 y en la figura 5-4 se muestra el estado final del escenario

después del desprendimiento, en ese instante se realiza la medición en tiempo real y la señales recibidas se guardan y se analiza.



Figura 5-4: Estado final súper seco tierra, Arena, macadán

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

Después se coloca nuevamente los materiales en su estado inicial para progresivamente incrementar el grado de humedad hasta saturarlos como se observa en la figura 6-4



Figura 6-4: Estado inicial súper húmedo tierra, Arena, macadán

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

Luego se crea el grado súper húmedo provocando desprendimiento según la figura 7-4 donde se observa el estado final de los materiales después del desprendimiento.



Figura 7-4: Estado final súper húmedo tierra, Arena, macadán

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

En estado súper seco con el 0 % de humedad, no existe un grado de compactación y al mínimo movimiento existe desprendimiento, para determinar los valores límites de riesgo de cada material en estado seco, se colocó agua hasta que el material se fuera compactando y ya no se produjera desprendimiento y esos valores se registraron. De igual forma en el estado súper húmedo se aprecia cómo se produce un desprendimiento cuando el suelo está saturado de humedad, las mediciones se toman antes del desprendimiento y después de que ocurra en los dos escenarios.

En ese instante se realiza la medición en tiempo real y las señales recibidas se guardan y se las analizan dando como resultado los valores mostrados en las tablas siguientes.

Para cada escenario de riesgo de desprendimiento de los materiales se tomó tres mediciones dándonos el mismo valor razón por la cual no se tomaron más mediciones.

4.2.2 Determinación de existencia de riesgo.

4.2.2.1 Evaluación de la permitividad en escenarios de desprendimiento del material 1 para determinar existencia de riesgo.

Para el material 1 que es la tierra se obtuvo un valor inicial de permitividad de 2,01 y 2,24 con existencia de desprendimiento y final de 2,89 cuando el material está compacto y ya no existe desprendimiento, los valores de permitividad de la medición 1 y 2 es donde existe riesgo de desprendimiento en estado súper seco para la tierra, se concluye que para valores menores a 2,89 ya existe un nivel de riesgo de desprendimiento.

Los valores de permitividad donde existe riesgo de desprendimiento en estado súper húmedo para la tierra son valores mayores a 5,99.

Tabla 5-4: Determinación de niveles de riesgo para la tierra

MATERIAL		TIERRA	
ESTADO		MUY SECO	MUY HÚMEDO
PERMITIVIDAD		< 2,89	>5,99

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

4.2.2.2 Evaluación de la permitividad en escenarios de desprendimiento del material 2 para determinar existencia de riesgo.

Para el material 2 que es la arena se obtuvo un valor inicial de permitividad de 1,9 y 2,05 con existencia de desprendimiento y final de 2,41 cuando el material esta compacto y ya no existe desprendimiento, los valores de permitividad de la medición 1 y 2 es donde existe riesgo de desprendimiento en estado súper seco para la arena, se concluye que para valores menores a 2,41 ya existe un nivel de riesgo de desprendimiento. Los valores de permitividad donde existe riesgo de desprendimiento en estado súper húmedo para la arena son mayores a 5,76.

Tabla 6-4: Determinación de niveles de riesgo para la arena

MATERIAL		ARENA	
ESTADO		MUY SECO	MUY HÚMEDO
PERMITIVIDAD		< 2,41	>5,76

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

4.2.2.3 Evaluación de la permitividad en escenarios de desprendimiento del material 3 para determinar existencia de riesgo.

Para el material 3 o macadán se obtuvo un valor inicial de permitividad de 2,23 y 2,26 con existencia de desprendimiento y final de 2,9 cuando el material esta compacto y ya no existe desprendimiento, los valores de permitividad de la medición 1 y 2 es donde existe riesgo de desprendimiento en estado súper seco para el macadán, se concluye que para valores menores a 2,9 ya existe un nivel de riesgo de desprendimiento. Los valores de permitividad donde existe riesgo de desprendimiento en estado súper húmedo para el macadán son valores mayores a 5,59.

Tabla 7-4: Determinación de niveles de riesgo para el macadán

MATERIAL		ARENA	
ESTADO		MUY SECO	MUY HÚMEDO
PERMITIVIDAD		< 2,9	>5,59

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

4.2.3 Evaluación del comportamiento de la señal recibida para determinar niveles de desprendimiento

Otra forma de determinar riesgos de desprendimientos es mediante un monitoreo continuo de las señales recibidas a una distancia fija del valor ya determinado para las mediciones, mientras sus condiciones de humedad o distancia no varía la señal recibida sigue teniendo las mismas características de amplitud, como se observa en la gráfica 5-4, en este caso podemos observar la señal recibida de la medición de la arcilla seca a una distancia fija de 40cm. La amplitud de esta señal recibida se encuentra en los 0,5

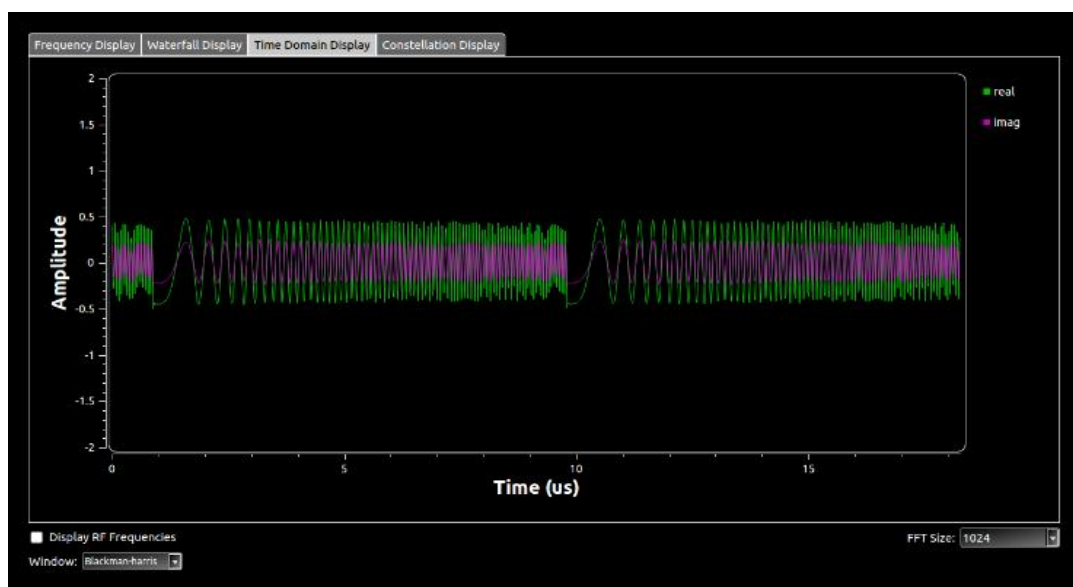


Gráfico 5-4: Señal recibida arcilla seca a 40cm.

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

Cuando existe un deslizamiento de tierra existen dos escenarios que podrían ocurrir y afectarían la distancia hasta el sistema, el primero cuando el material se deslice a su base dejando huecos y hendiduras que aumentarían la distancia hacia el sistema y la segunda forma cuando el material no se deslice a su base sino que cree malformaciones que aumentara material en la línea de vista del sistema haciendo que la distancia al sistema se disminuya, para simular un desprendimiento se variara la distancia de medición de las antenas como se observa en la figura6-4. Para el primer caso donde el desprendimiento aumente la distancia al sistema de medición.

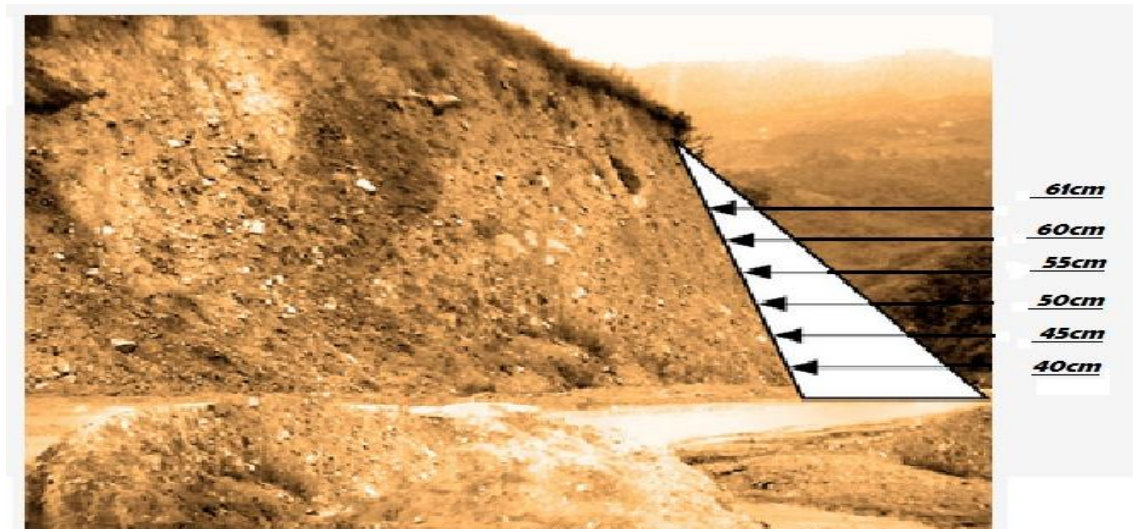


Figura 8-4: Sistema de medición a varias distancias

Realizado por: Nancy, P. Veloz, 2017

A continuación detallaremos las gráficas obtenidas de las señales recibidas de nuestro sistema de medición variando la distancia en múltiplos de 5cm es decir a 45cm, 50cm, 55cm, 60cm y 61cm.

Como se observa en la gráfica 6-4, en este caso podemos observar la señal recibida de la medición de la arcilla seca a una distancia fija de 45cm. La amplitud de esta señal recibida se encuentra en los 0,25 la mitad de la señal a 40cm.

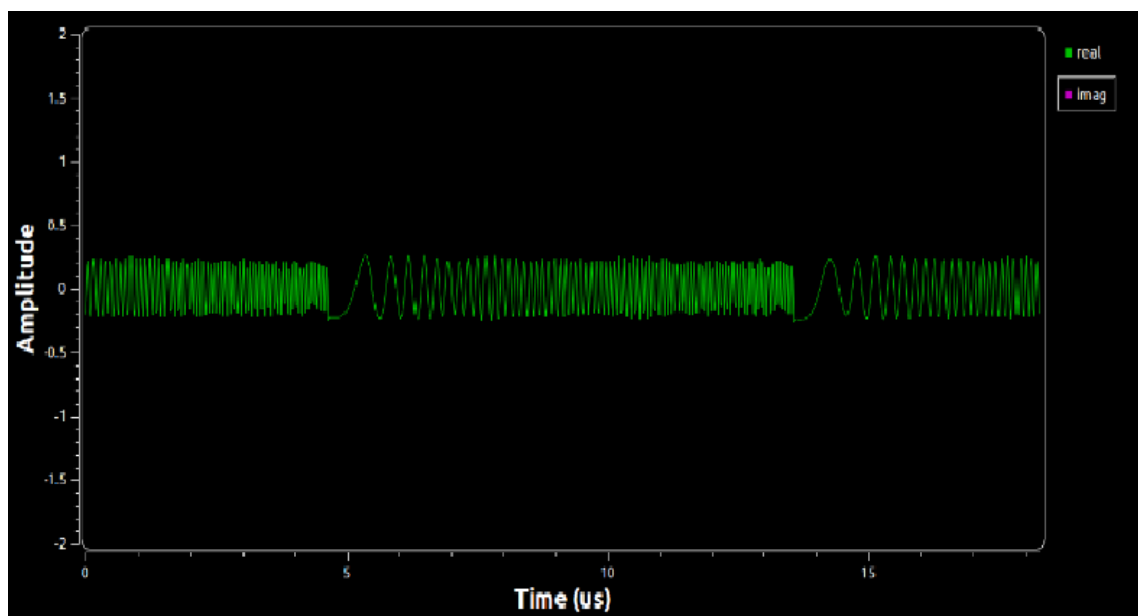


Gráfico 6-4: Señal recibida arcilla seca a 45cm

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

Como se observa en la gráfica 7-4, en este caso podemos observar la señal recibida de la

medición de la arcilla seca a una distancia fija de 50cm. La amplitud de esta señal recibida se encuentra en los 0,12 la mitad de la señal a 45cm y la cuarta parte de la señal a 40cm.

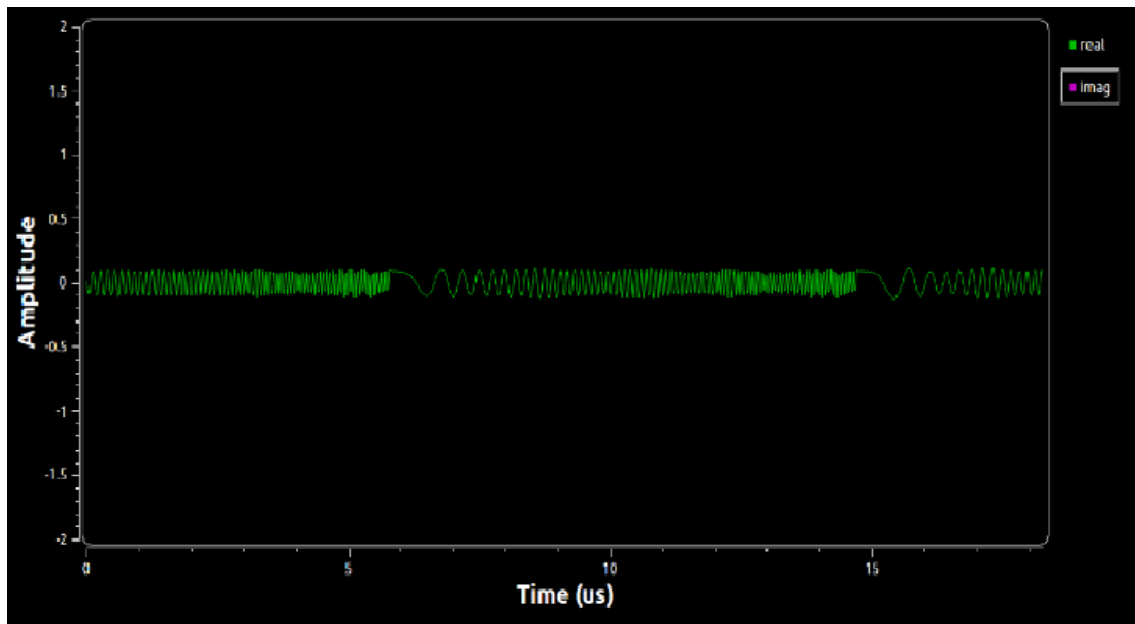


Gráfico 7-4: Señal recibida arcilla seca a 50cm

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

Como se observa en la gráfica 8-4, en este caso podemos observar la señal recibida de la medición de la arcilla seca a una distancia fija de 55cm. La amplitud de esta señal recibida se encuentra en los 0,06 la mitad de la señal a 50cm, la cuarta parte de la señal a 45cm y la octava parte a 40cm.

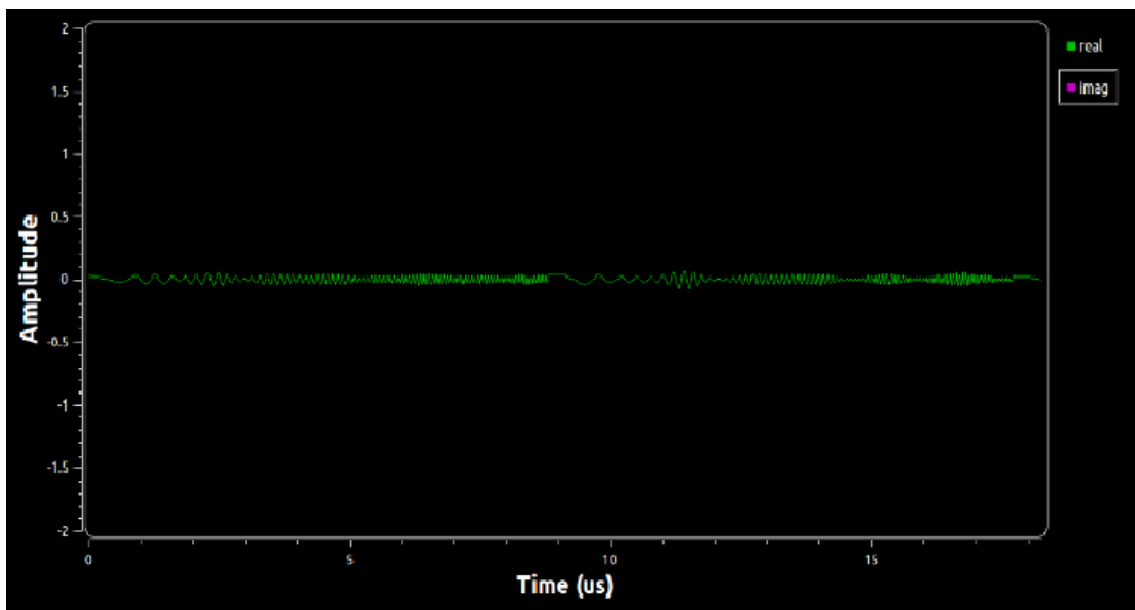


Gráfico 8-4: Señal recibida arcilla seca a 55cm

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

No podemos observar la señal recibida de la medición de la arcilla seca a una distancia fija de 60cm y 61cm. Debido a que su amplitud está en 0. Y a partir de este punto la señal se atenúa al 100%

De igual forma se acercó el sistema en múltiplos de 5cm 35cm, 30cm, 25cm y 20cm para analizar y registrar los datos. En la siguiente tabla registramos los valores obtenidos de la amplitud de las señales recibidas de la arcilla seca a diferentes distancias para calcular el nivel de desprendimiento.

Tabla 8-4: Comportamiento de la señal Rx de la arcilla vs distancia

DISTANCIA	AMPLITUD
20cm	1
25cm	0,937
30cm	0,875
35cm	0,75
40cm	0,5
45cm	0,25
50cm	0,125
55cm	0,062
60cm	0

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

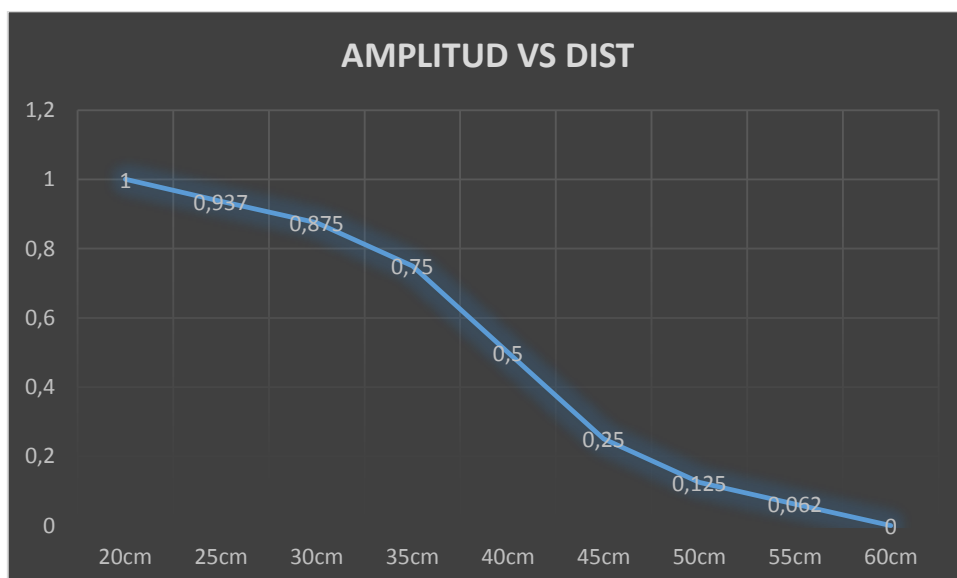


Gráfico 9-4: Comp. De la amplitud de la señal recibida (arcilla seca) vs distancia

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

En la gráfica 9-4 podemos visualizar que la amplitud decrece en un 50 % con su valor de amplitud anterior a medida que la distancia aumenta en múltiplos de 5cm.

Es decir la amplitud de la señal recibida se atenúa a medida que exista un desprendimiento del primer caso, cuanto mayor sea el desprendimiento será menor la amplitud de la señal recibida y en el segundo caso la amplitud aumenta, esta sería una forma muy gráfica y practica de monitorear remotamente zonas de desprendimiento en base a analizadores de señales.

Tabla 9-4: Ddesprendimientos según amplitud de la señal Rx vs distancia

DISTANCIA	AMPLITUD	DESPRENDIMIENTO
20cm	1	MUY ALTO
25cm	0,937	MUY ALTO
30cm	0,875	ALTO
35cm	0,75	MEDIO
40cm	0,5	NULO
45cm	0,25	MEDIO
50cm	0,125	ALTO
55cm	0,062	MUY ALTO
60cm	0	MUY ALTO

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

Para valores de distancia pequeños la amplitud de la señal recibida se incrementa, hasta llegar a 1 que es el valor máximo de amplitud del sistema de medición de igual forma para valores de distancia grandes la amplitud de la señal recibida se decremento, hasta llegar a 0 que es el valor mínimo de amplitud del sistema de medición, a la distancia de 40cm el sistema está estable es decir no existe una simulación de desprendimiento.

Con 5cm de simulación de desprendimiento, se define que si existe una disminución o aumento del 50% o (0,25, 0,75) de la amplitud de la señal recibida, existe un desprendimiento que está provocando una alteración en el sistema de monitoreo de la zona de desprendimientos, sé le asigna un nivel de desprendimiento medio.

Si la amplitud de la señal recibida decrece o aumenta un 50% de la amplitud anterior hasta valores mayores (0,125, 0,875) en el caso de la arcilla, se le asigna un nivel de desprendimiento alto, con 10cm de simulación de desprendimiento.

Si la amplitud de la señal recibida decrece con valores de (0,062, 0,937) se le asigna un nivel muy alto de desprendimiento, con 15cm de simulación de desprendimiento.

Se ha podido determinar los niveles de riesgo en base a los valores de permitividad relativa encontrados en la medición del sistema para zonas de desprendimiento, basándonos en grados de humedad además de simular desprendimientos para analizar la amplitud de la señal recibida.

4.3 Comprobación de la Hipótesis

4.3.1 Hipótesis general

El estudio de un sistema de medición en zonas de desprendimientos a través de tecnología SDRadar determinará niveles de riesgos en un ambiente de laboratorio.

4.3.2 Demostración de la hipótesis

Mediante la recolección de la información de todos los sistemas que relacionan la humedad con las características eléctricas del suelo, se analizó las señales recibidas por el sistema radar para calcular el índice de reflexión, el cual se basa en las constantes dieléctricas de los medios presentes en el fenómeno de la reflexión, gracias a esta relación se pudo obtener el valor de la permitividad relativa de los materiales, los cuales fueron estudiados variando sus grados de humedad, comprobando que variando el valor de humedad variaba el valor de la permitividad, con estas mediciones se formó una base de datos del comportamiento de los materiales vs humedad, que sirvió como base para nuestro análisis.

Se comprueba esto mediante el coeficiente de correlación dado por la fórmula siguiente:

$$\gamma_{xy} = \frac{\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i / n}{\sqrt{(\sum x_i^2 - \frac{\sum x_i^2}{n})(\sum y_i^2 - \frac{\sum y_i^2}{n})}} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

$$\gamma_{xy} = 0,85$$

El coeficiente de correlación permite medir el grado de asociación lineal entre dos variables cuantitativas puede tomar tres valores 1,0,-1 siendo 1 y -1 una relación perfecta y 0 una relación nula.

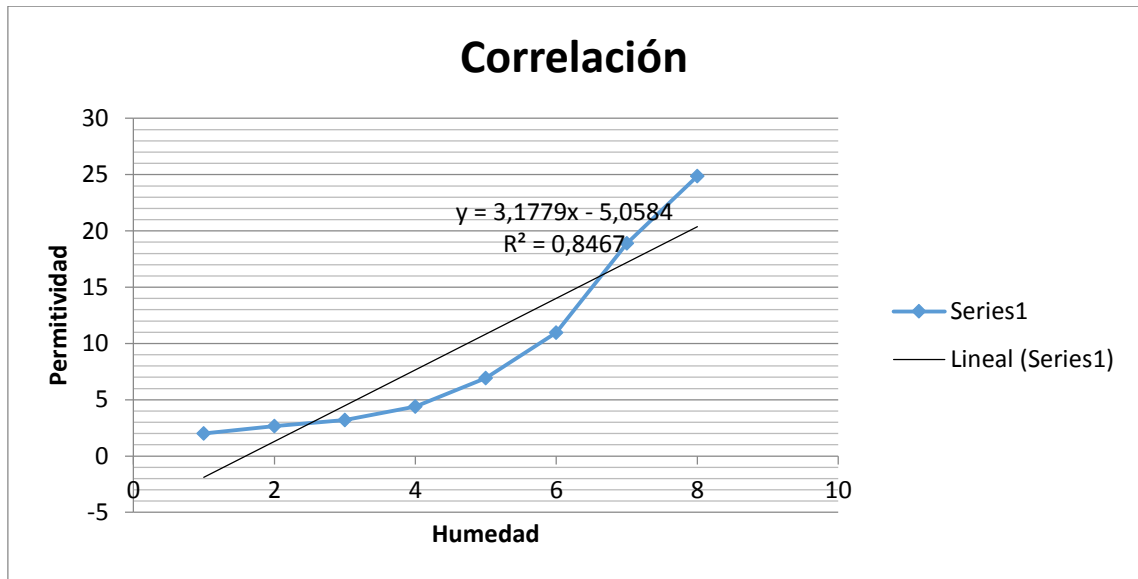


Gráfico 10-4: Correlación entre la permitividad y humedad.

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

Como se obtuvo un valor cercano a 1 se determina que existe un grado de correlación fuerte entre la permitividad y la humedad.

Posterior a esto se estableció escenarios donde podía existir una gran probabilidad de desprendimientos, analizando dos escenarios uno súper seco y otro súper húmedo para cada material y realizando varias mediciones de antes de los desprendimientos y después de la ocurrencia de los mismos. Se estableció valores límites para cada material en donde existe riesgos de desprendimientos.

Para comprobar la hipótesis general se establece usar la prueba T de muestras relacionadas por lo tanto se define dos hipótesis específicas una nula y verdadera en donde se evalúa el valor de la permitividad antes y después del desprendimiento.

H_0 =No existe una diferencia significativa entre los valores de permitividad antes del desprendimiento y después del desprendimiento.

H_1 =Existe una diferencia significativa entre los valores de permitividad antes del desprendimiento y después del desprendimiento.

Luego se define el valor de error aceptado

$$\alpha = \text{valor de error aceptado}$$

Ecuación 3-4

$$\alpha = 0.05 = 5\%$$

Luego se realiza la elección de la prueba estadística, como es numérica se establece la prueba T de muestras relacionadas, El procedimiento Prueba T para muestras relacionadas compara las medias de dos variables de una misma muestra.

Por último se verifica si existe normalidad o no en los datos gracias a la ayuda del paquete estadístico IBM SPSS obtenemos la siguiente tabla, de la misma que escogemos los resultados de Shapiro-Wilk porque tenemos 20 mediciones para valores mayores de 30 se usa los valores de Kolmogorov-Smirnov^a, entonces el valor de la última columna nos permiten determinar si existe normalidad o no

Tabla 10-4: Resultados de normalidad en SPSS

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
LEVE3	,309	20	,000	,801	20	,061
FUERTE	,213	20	,018	,918	20	,091

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

El nivel leve 3 es donde no existe desprendimiento tiene un valor de 0.061 y los valores del nivel fuerte es cuando existe desprendimiento en estado súper húmedo tiene un valor de 0.091

Valor $P > \alpha$ existe normalidad o Valor $P < \alpha$ No existe normalidad

Valor P (antes del desprendimiento) $> \alpha$

$0.061 > 0.05$ Por tanto existe una distribución normal

Valor P (después del desprendimiento) $> \alpha$

$0.091 > 0.05$ Por tanto existe una distribución normal

Como se determinó usar la prueba T para muestras relacionadas mediante el SPSS se obtuvo la tabla 11-4 en la última columna encontramos el valor a ser comparado para determinar si se cumple o no la hipótesis específica

Tabla 11-4: Resultados de la prueba T en SPSS

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	media de error estándar	confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	LEVE3 - FUERTE	-46,07800	4,90617	1,09705	-48,37416	-43,78184	-42,002	19	,000

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

Se realiza la decisión estadística mediante la comparación del valor de la última columna

Valor $P > \alpha$ se cumple H_0 o Valor $P < \alpha$ Se cumple H_1

Como $0.000 < 0.05$ entonces se cumple la hipótesis específica 1

H_1 =Existe una diferencia significativa entre los valores de permitividad antes del desprendimiento y después del desprendimiento, como se observa en el siguiente gráfico.

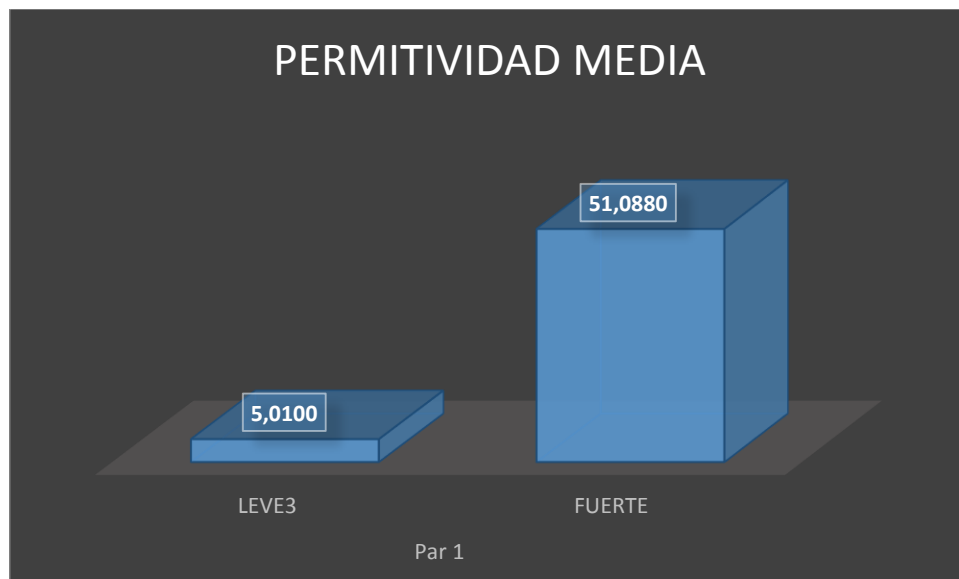


Gráfico 11-4: Valores de permitividad media antes y después del desprendimiento.

Realizado por: Nancy P. Veloz. 2017

Mediante esta comprobación determinamos que con los valores obtenidos de permitividad antes y después del desprendimiento se puede determinar niveles de riesgo.

CONCLUSIONES

- Se ha diseñado e implementado un sistema de medición para zonas de desprendimiento que mediante valores de permitividad relativa de la tierra, arena y macadán en diferentes condiciones de humedad puede determinar niveles de riesgo con tecnología SDRadar.
- Se ha determinado que los valores de la permitividad de un terreno varían según la composición de agua que posee.
- Debe existir un cierto grado de humedad en un terreno para que exista compactación, es decir si el terreno es muy seco o muy húmedo existirá un riesgo de desprendimiento.
- La etapa de calibración es un paso muy importante para realizar las mediciones ya que de esta depende la referenciación para las mediciones.
- El material 2 y 3 o Arena y Macadán son los materiales con valores de permitividad bajos, y el material 1 o tierra posee valores de permitividad altos en comparación de los otros dos, analizando el concepto de la permitividad a mayor permitividad mayor capacidad de penetración de campo eléctrico en el material, es decir el material que más permitividad tiene sería el material más inestable del que podría estar compuesto una zona de desprendimiento debido a sus características de absorción de humedad.

RECOMENDACIONES

- Se debe utilizar antenas con frecuencia de trabajo altas entre los GHz y propiamente diseñadas para sistemas radar para poder obtener resultados más óptimos.
- Se debe adquirir una señal inicial con un material conductor lo más perfecto posible para cada escenario de medición, como una forma de calibración del sistema porque de esta señal parte la comparación y fiabilidad de los valores de permitividad obtenidos.
- Se debe mantener una distancia horizontal de 7,5cm entre las antenas para que sus lóbulos no se solapen y tener una posición fija de 40cm para que las mediciones sean estables.
- Se recomienda después de varias mediciones restear la conexión con la tarjeta para evitar tomar mediciones no reales.
- Se recomienda tener claro los conocimientos del funcionamiento del radar y del parámetro de permitividad en el que se basó el proyecto para poder analizar e interpretar los resultados.
- Se recomienda disponer de un dispositivo de almacenamiento grande porque las mediciones están en tamaños de Gbytes.

GLOSARIO

AD	Corriente Alterna
CW	Onda Continua
ADC	Convertidor Analógico Digital
DAC	Convertidor Digital Analógico
DSP	Procesador de Señal Digital
FFT	Transformada Rápida de Fourier
FMCW	Radar de Onda Continua Modulada en Frecuencia
FPG	Puerta programable de campo
FPGA	Rayo de Puerta Programable
GPIO	Entrada/Salida de Propósito General
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
GPSDO	GPS controlado por oscilador de cristal
GUI	interfaz gráfica del usuario
HF	Alta Frecuencia
IDE	Entorno de Desarrollo Integrado
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IF	Frecuencia Intermedia
JTAG	Grupo de Acción de Prueba Conjunta
LNA	Amplificador de Bajo Ruido
NI	Instrumento Nacional
OFDM	Multiplicación por División de Frecuencia Ortogonal
PAPR	Algoritmo de Potencia Máxima/Media
PHY	Python
POO	Programación Orientada a Objetos
PPS	Pulsos por Segundo
PSR	Radar de Vigilancia Primario
RADAR	Detección y Rango de Radio
RCS	Sección Transversal del Radar
RF	Radio Frecuencia
RFIC	Circuito Integrado de Radiofrecuencia
RX	Receptor

SDRadar	Radar Definido por Software
TX	Transmisor
UHD	Controlador de hardware USRP
UHF	Frecuencia Ultra Alta
USB	Bus Serie Universal
USRP	Periférico Universal de Software de Radio
VHF	Muy Alta Frecuencia
ZD	Zona de desprendimiento

BIBLIOGRAFÍA

- [1] **ÁLVAREZ, René & SHAGÑAY, Sandra. (2015)** *Sistema radar para análisis y reconstrucción de perfiles topográficos a media escala* [en línea] (Tesis Pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. [Consulta: 05 de marzo de 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4476/1/98T00071.pdf>
- [2] **BASSEM, R. (2013).** *Radar System Analysis and Design Using MATLAB*. 3 ed. Alabama : CRC Press, 2013.
- [3] **CHARVAT, Gregory (2014).** *Small And Short Range Radar System*. United States of America. 2014.
- [4] **CONSTANZO, Sandra; et al. (2017).** "Potentialities of USRP Based Software Defined Radar Systems". *Progress in Electromagnetism Research B* [en línea], 2013, Vol. 53, págs. 417-435. [Consulta: 06 de enero de 2017]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/257393279_Potentialities_of_USRP-based_software_defined_radar_systems
- [5] **CORONEL, Juan. (2011)** "Estudio y caracterización de ecos de radar de onda continua aplicados a la medición de nivel de fluidos homogéneos y heterogéneos", Tesis para el grado de Magister en Ingeniería Eléctrica, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia 2011. [Consulta: 06 de Mayo de 2017] Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6434/1/300045.2012.pdf>
- [6] **CUÑEZ, Javier. (2015)** "Comportamiento de la resistividad eléctrica de los suelos ante variaciones de humedad y grado de compactación", Tesis para el grado de Ingeniero Civil, Universidad de Cuenca, Ecuador 2015. [Consulta: 06 de Julio de 2017] Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/23016/1/Tesis.pdf>
- [6] **D' ERCOLE 1, 1. (1998).** *Deslizamientos ocurridos en el Ecuador*.
- [7] **ECUADOR, SECRETARIA NACIONAL DE PLANIFICACION, SENPLADES-CAF/PREANDINO. (2005).** *Peligros de derrumbes y deslizamientos en el Ecuador continental*.
- [8] **ETTUS RESEARCH. (2010)** *Board Mounted GPSDO (OCXO) Recommended for USRP X300/X310*. [En línea]. Estados Unidos: Ettus Research, 2010. [Consulta: 01 de febrero de 2017]. Disponible en: <https://www.ettus.com/product/details/GPSDO-MINI>.
- [9] **ETTUS RESEARCH. (2010)** *USRP B210 (Board Only)*. [En línea]. Estados Unidos: Ettus Research, 2010. [Consulta: 28 de diciembre de 2016]. Disponible en: <https://www.ettus.com/product/details/UB210-KIT>.

- [10] **E. Alonso, J. Corominas y M. Hürlimann**VIII, (2013) “Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables” [en línea], *Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE)*, Riobamba, Barcelo-España. junio 2013. [Consulta: 1 de abril de 2017]
- [11] **FLORES, Maria.** (2013) Permitividad eléctrica y permeabilidad magnética efectivas de compuestos, 2013. [Consulta: 07 de Agosto de 2017]. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/22285/1/T34606.pdf>.
- [12] **GHODGAONKAR, d.k.** (1998) ; Dept. of Eng. Sci., Pennsylvania State Univ., University Park, PA, USA ; Varadan, V.V. ; Varadan, Vijay K. ”A free-space method for measurement of dielectric constants and loss tangents at microwave frequencies”, *Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on* (Volume:38 , Issue: 3), p. 789 - 793, June 198
- [13] **GNURADIO.** (2017) *Main Page*. [En línea] 2017.[Consulta: 20 de abril de 2017]. Disponible en: https://wiki.gnuradio.org/index.php/Main_Page.
- [14] **GÓMEZ, Fernandez &SALAR, Emilio.** (2009) PERMITIVIDAD ELÉCTRICA Y PERMEABILIDAD MAGNÉTICA. [Blog] 25 de mayo de 2009. [Consulta: 30 de abril de 2017]. Disponible en: <http://electromagnetismo2009.blogspot.com/2009/05/3.html>.
- [15] **GÓMEZ, Fernandez & SALAR, Emilio.** (2009) TIPOS DE RADAR. *TIPOS DE RADAR*. [Blog] 25 de mayo de 2009. [Consulta: 30 de abril de 2017]. Disponible en: <http://electromagnetismo2009.blogspot.com/2009/05/3.html>.
- [16] **GUTIERREZ, Carlos & NIETO, Angel.** (2006) *Teledeteccion: nociones y aplicaciones*. España, Salamanca : 2006.
- [17] **HERNÁNDEZ, Enrique; et al.** (2005) "Uso de FPGA para realizar compresión del pulso de radar". *Científica*, Vol. 9 (2005), (Venezuela) pp 73-81.
- [18] **LLALAU, Diego.** (2017) *Desarrollo de un prototipo mediante un radar de apertura sintética (sar) para la detección y ubicación de objetos en ambientes internos con una tarjeta USRP B210*[en línea](Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. [Consulta: 10 de julio de 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec>
- [19] **MAGORGA, T. M.** (julio de 2013). *Universidad Nacional de Cordova.marcoah*. (25 de 01 de 2017). Obtenido de <http://marcoah.com.ve/2015/08/nueva-tecnologia-en-la-identificacion-de-deslizamientos-de-tierra/>
- [20] **MATHWORKS** (2017) *System Requirements & Platform Availability*. [En línea]. Estados Unidos: Mathworks, 2017. [Consulta: 16 de febrero de 2017]. Disponible en: https://www.mathworks.com/products/matlab/choosing_hardware.html.


- [21] **MEJÍA, Francis;et al. (2012)***Implementar un DOMAIN controller basado en el protocolo LDAP, que incluya servicios GATEWAY bajo plataformas LINUX, para ser usado en las aulas informáticas educativas gubernamentales del Municipio de Metapán*[en línea] (Tesis Pregrado). Universidad Francisco Gavidia, San Salvador, El Salvador. 2012. [Consulta: 22 de enero de 2017]. Disponible en: <http://ri.ufg.edu.sv/jspui/bitstream/11592/4188/2/371.102-M516i.pdf>
- [22] **MEJIA , Julio. (2017)***Desarrollo de un algoritmo en matlab para la optimización de la resolución de una tarjeta USRP B210 para aplicaciones SDRADAR*[en línea](Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. [Consulta: 10 de julio de 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec>
- [23] **MERCHÁN, Christian Vladimir. (2016)** *Diseño e implementación de un sistema radar utilizando sistema sdr a través de tecnología usrp para aplicaciones topográficas*[en línea](Tesis Pregado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016.[Consulta: 13 de abril de 2017]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6417/1/98T00121.pdf>
- [24] **MORENO, David. (2015)** *Permittivity characterization of a dielectric material using radar technique* [en línea](Tesis Postgrado). Universit`a della Calabri, Italia. 2015.
- [25] **NATIONAL INSTRUMENTS. (2017)** *Radio definido por software* [En línea]. Ecuador: National Instruments, 2017. [Consulta: 16 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.ni.com/sdr/esa/>.
- [26] **NERI,Rodolfo. (1999)***Lineas de transmision*. Vol. 1. Mexico : Toluca, 1999.
- [27] **RICHARD, Mark. (2010)***Principles Of Modern Radar*. United States of America : Katie Janelle, 2010.
- [28]**SKOLNIK, M. I. (1980).** *AN INTRODUCTION TO RADAR*. En M. I. Skolnik. New York.
- [29]**SUAREZ, Jaime. (2011)**;*Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*”, Universidad industrial de Santander (Consulta: 10 de abril de 2017), 1998
- [30]**WAN, Changhua ; NAUWELAERS, B. ; De RAEDT, W. ; VAN ROSSUM, Marc, (1998)**”Two new measurement methods for explicit determination of complex permittivity”, *Microwave Theory and Techniques*, IEEE Transactions on (Volume:46 , Issue: 11), p. 1614-1619, November 1998.
- [31] **WOLFF, Christian. (2010)***Radar Tutorial*. [En línea] [Consulta: 16 de mayo de 2017]. Disponible en: <http://www.radartutorial.eu/02.basics/Frequency%20Modulated%20Continuous%20Wave%20Radar.en.html>.

[32] **YANG, Yunqiang & FATHY, Aly (2009).**“Development and implementation of a real-time see-through-wall radar system based on FPGA”. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 47, n° 5(2009). pp. 1270-1280.

[33]**ZEVALLOS.** (1999). *Sistema de Inventario de Desastres en America Latina*.Chile1998

ANEXOS

ANEXO A: Datasheet USRP B210




Ettus
Research™
A National Instruments Company

USRP™ B200/B210 Bus Series

FEATURES

- RF coverage from 70 MHz – 6 GHz
- GNU Radio, C++ and Python APIs
- USB 3.0 SuperSpeed interface
- Standard-B USB 3.0 connector
- Flexible rate 12 bit ADC/DAC
- Grounded mounting holes



USRP B200


- 1 TX & 1 RX, Half or Full Duplex
- Xilinx Spartan 6 XC6SLX75 FPGA
- Up to 56 MHz of instantaneous bandwidth
- USB Bus powered

USRP B210

- 2 TX & 2 RX, Half or Full Duplex
- Fully-coherent 2x2 MIMO capability
- Xilinx Spartan 6 XC6SLX150 FPGA
- Up to 56 MHz of instantaneous bandwidth in 1x1
- Up to 30.72 MHz of instantaneous bandwidth in 2x2
- Includes DC power supply
- GPIO capability

USRP B200/B210 Product Overview

The USRP B200 and B210 hardware covers RF frequencies from 70MHz to 6 GHz, has a Spartan6 FPGA, and USB 3.0 connectivity. This platform enables experimentation with a wide range of signals including FM and TV broadcast, cellular, Wi-Fi, and more. The USRP B200 features one receive and one transmit channel in a bus-powered design. The USRP B210 extends the capabilities of the B200 by offering a total of two receive and two transmit channels, incorporates a larger FPGA, GPIO, and includes an external power supply. Both use an Analog Devices RFIC to deliver a cost-effective RF experimentation platform, and can stream up to 56 MHz of instantaneous bandwidth over a high-bandwidth USB 3.0 bus on select USB 3.0 chipsets (with backward compatibility to USB 2.0). Because the B200 and B210 are enabled with our USRP Hardware Driver™ (UHD), users can develop their applications and seamlessly port their designs to high-performance or embedded USRPs such as the USRP X310 or USRP E310. UHD is an open-source, cross-platform driver that can run on Windows, Linux, and MacOS. It provides a common API, which is used by several software frameworks, such as GNU Radio. With this software support, users can collaborate with a vibrant community of enthusiasts, students, and professionals that have adopted USRP products for their development. As a member of this community, users can find assistance for application development, share knowledge to further SDR technology, and contribute their own innovations.





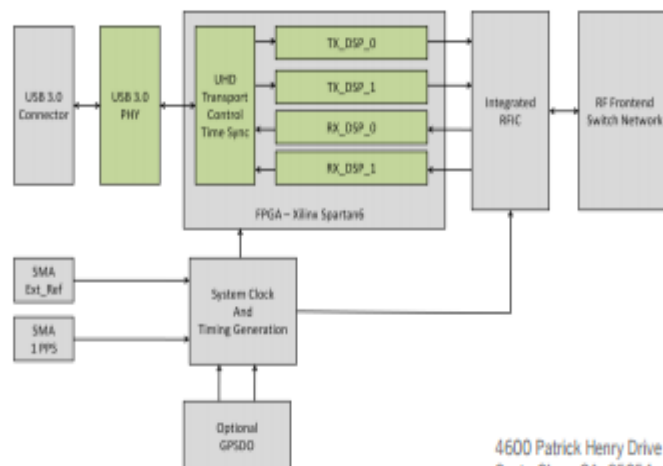
USRP™ B200/B210 Bus Series

Spec	Typ.	Unit
Power		
DC Input	6	V
Conversion Performance and Clocks		
ADC Sample Rate (max)	61.44	MS/s
ADC Resolution	12	bits
ADC Wideband SFDR	78	dBc
DAC Sample Rate (max)	61.44	MS/s
DAC Resolution	12	bits
Host Sample Rate (16b) **	61.44	MS/s
Frequency Accuracy	±2.0	ppm
W/ GPS Unlocked TCXO Reference	±75	ppb
W/ GPS Locked TCXO Reference	< 1	ppb

*All specifications are subject to change without notice.

** See benchmark results for sample rates in various configurations.

Spec	Typ.	Unit
RF Performance(single channel)		
SSB/LO Suppression	-35/50	dBc
3.5 GHz	1.0	deg RMS
6 GHz	1.5	deg RMS
Power Output	>10	dBm
IIP3 (@ typ NF)	-20	dBm
Receive Noise Figure	<8	dB
Physical		
Dimensions	9.7x15.5x1.5	cm
Weight	350	g



About Ettus Research

Ettus Research is an innovative provider of software defined radio hardware, including the original Universal Software Radio Peripheral (USRP) family of products. Ettus Research is a leader in the GNU Radio open-source community, and enables users worldwide to address a wide range of research, industry and defense applications. The company was founded in 2004 and is based in Santa Clara, California. As of 2010, Ettus Research is a wholly owned subsidiary of National Instruments.

4600 Patrick Henry Drive
Santa Clara, CA 95054

P 408.610.6399 www.ettus.com
F 866.807.9801



ANEXO B: DatasheetAmplificador ZJL-6G

Coaxial
Amplifier

50Ω Low Power 20 to 6000 MHz



CASE STYLE: BW450

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZJL-6G+	\$114.95 ea.	(1-9)

+ RoHS compliant in accordance
with EU Directive (2002/95/EC)

The +Suffix has been added in order to identify RoHS
Compliance. See our web site for RoHS Compliance
methodologies and qualifications.

Features

- ultra wideband, 20 to 6000 MHz
- compact rugged case, 1.07"x 0.61" (including mounting bracket)
- protected by US Patent, 6,943,629

Applications

- communications systems
- radar
- instrumentation
- laboratory use

Amplifier Electrical Specifications

MODEL NO.	FREQUENCY (MHz)		GAIN (dB)			MAXIMUM POWER (dBm)			DYNAMIC RANGE		VSWR (1:1) Typ.		DC POWER	
	f _L	f _U	Typ.	Min.	Flatness ¹ Typ.	Output (1 dB Compr.) L	U	Input (no damage)	NF (dB) Typ.	IP3 (dBm) Typ.	In	Out	Volt (V) Nom.	Current (mA) Max.
ZJL-6G+	20	6000	13	10	±1.6	+9	+10	+15	4.5	+24	1.5	1.4	12	50

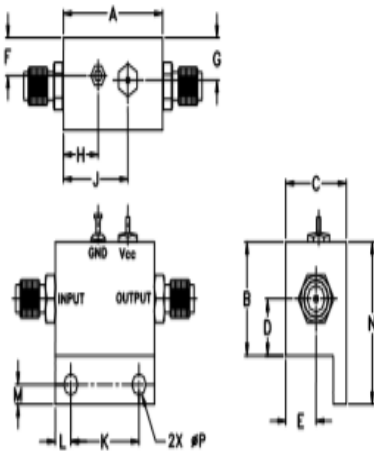
1. Flatness specified to 0.75 fU, dynamic range at 2 GHz.
Open load is not recommended, potentially can cause damage.
With no load derate max input power by 20 dB

L= low range (f_L to f_L/2) U= upper range (f_U/2 to f_U)

Maximum Ratings

Operating Temperature	-40°C to 75°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
DC Voltage	+13V Max.

Outline Drawing



ANEXO C: Código para determinar valores del índice de reflexión y permitividad

```
clearall;
closeall;

%Ancho de Banda
B=25e6;

%Frecuencia de muestreo x 3
fm=3*B;
distancia=1000;
tf=(2*distancia)/3e8;
Tm=1/fm;    %tiempo de muestreo (s)
t = 0:Tm:tf;

% SEÑAL GENERADA (TRANSMITIDA ORIGINAL)
senalfmcw = phased.FMCWWaveform('SampleRate',fs,'SweepTime',tf,...
'SweepBandwidth',B,'SweepDirection','Up','NumSweeps',1);
x = (step(senalfmcw));
senaltx=real(x);%SE CREA SEÑAL REAL EN .DAT
write_float_binary(senaltx, 'senaltx');

% SEÑAL DE CALIBRACION
y = fopen('senalcalibracion1.dat', 'rb');
recESC = fread (y, [1,75e3], 'float');
%CREACION DE SEÑAL DE CALIBRACION VECTOR
N=length(senaltx);
inicio=445; %SEÑAL CALIBRACION
fori=1:N
    rec1(i)=recESC(inicio);
    inicio=inicio+1;
end

%SIMULACION DE RETARDO EN DISTANCIA
d=4;
shif=round((d*N)/distancia);
shif=shif+1;
ya=zeros(1,shif),rec1];
ya=ya(1:N);
    N=length(ya);
    g=abs(fft(ya));
    g=g(1:N/2);
    fa2=fs*(0:N/2-1)/N;
```



```

% SEÑAL RECIBIDA
y1 = fopen('senaltierraseca9.dat', 'rb');
recESC1 = fread (y1, [1,75e3], 'float');
figure
plot(recESC1)
title ('SEÑAL RECIBIDA COMPLETA');
ylabel('Amplitud');
inicio=16780;
fori=1:length(senaltx)
rec2(i)=recESC1(inicio);
inicio=inicio+1;
end
%PRODUCTO DE SEÑAL TX/CALIBRADA
p=senaltx'.*ya;
p1=senaltx'.*rec2;
% CALCULO DEL INDICE DE REFLECCION
Z=fft(p);
Z1=fft(p1);
Pmaz=max(Z);
M1=Z1/Pmaz;
M=Z/Pmaz;
xx=(fs*dist)/(2*(BW));
xf = linspace(0,xx,length(senaltx/2));
figure(5);plot(xf,abs(fftshift((M))));
holdon
plot(xf,abs(fftshift((M1))), 'r');
title ('RADARGRAMA');
ylabel('Indice de reflexion');
Ire=max(abs(M1))
% CALCULO DE LA PERMITIVIDAD
Perm=((1+Ire)/(1-Ire))^2
% DETERMINACION DE NIVELES DE RIESGO
xf = linspace(0,xx,length(ga3));
if Perm < 3
disp('La permitividad es:');
disp(Perm)
disp('El nivel de riesgo es alto');
elseif Perm > 3 && Perm <= 6
disp('La permitividad es:');
disp(Perm)
disp('El nivel de riesgo es bajo');

```

```
elseif Perm > 6 && Perm <= 10
disp('La permitividad es:');
disp(Perm)
disp('El nivel de riesgo es medio');
elseif Perm > 10 && Perm <= 20
disp('La permitividad es:');
disp(Perm)
disp('El nivel de riesgo es alto');
elseif Perm > 20 && Perm <= 100
disp('La permitividad es:');
disp(Perm)
disp('El nivel de riesgo es muy alto');
end
```

ANEXO C: Medidas realizadas con la USRP B210